Geomorphologische Beobachtungen aus Norwegen

von

Dr. Eduard Richter,
o. ö. Professor der Geographie an der k. k. Universität in Graz.

(Mit 2 Tafeln und 2 Textfiguren.)

Die gegenwärtige Landoberfläche Skandinaviens hat mit der ursprünglichen Begrenzungsfläche der gefalteten und gehobenen Massen, aus denen das Land aufgebaut ist, nichts mehr gemeinsam. Ungeheure Mengen festen Materiales sind durch die denudirenden Kräfte entfernt worden. Selbst die Gesteine der höchsten Gipfel des Landes zeigen Spuren einer Druckmetamorphose, welche auf das Vorhandensein mächtiger, einst überlagernder Schichtfolgen schliessen lassen; Brögger hält es nicht für unmöglich, dass eine 5000—10.000 *m* dicke Gesteinsschicht entfernt worden ist;[1] sicherlich ist der jetzige Gebirgskörper nur ein Rest einstiger weit mächtigerer Massen.

Die heutige Landoberfläche ist also eine Denudationsfläche; die Formen, denen wir begegnen, sind Erzeugnisse der abtragenden Kräfte. Die tektonischen Vorgänge einer längst verflossenen Zeit sind für sie nur insofern massgebend, als bestimmte Gesteinsfolgen dadurch an bestimmte Örtlichkeiten gebracht worden sind. Für die relative Höhe der einzelnen Theile der Oberfläche und für die darnach sich ergebenden Formen ist vor Allem die verschiedene Härte und Widerstandskraft der verschiedenen Gesteine massgebend gewesen. Tektonische Vorgänge haben die Gesteine in bestimmte Lagen

[1] W. C. Brögger, Lagfölgen paa Hardangervidda. Kristiania, 1893, S. 118.

gebracht; da der Widerstand dieser Gesteine gegenüber dem über sie hingehenden Hobel der Denudation nicht der gleiche war und das Werkzeug selbst nicht überall in gleicher Weise wirkte, so ist die abgehobelte Fläche nicht ganz eben, und insofern kommt die Tektonik zu einer gewissen Bedeutung.

Will man eine einzelne Form, den Bau einer Örtlichkeit erklären, so wird man die Untersuchung der Tektonik nicht entbehren können. Man kann aber die Sache auch anders anfassen. Die verschiedenen denudirenden Kräfte lassen verschiedene ihrer Eigenart entsprechende Spuren zurück; die Wirkungen der fliessenden Gewässer, der Gletscher, der Verwitterung sind als solche ziemlich genau erkennbar und verständlich. Diese Spuren werden von dem Materiale, in das sie eingegraben sind, nicht allzu sehr beeinflusst; sie behalten gewisse Züge unter allen Umständen bei. Besonders die krystallinischen Gesteine, seien sie plutonisch oder jüngere umgewandelte Schichtfolgen oder welchen Ursprungs immer, bewahren stets ein gleichmässiges Verhalten gegenüber der Denudation. Ihnen stehen die kalkigen, meist geschichteten Gesteine ohne Rücksicht auf ihr geologisches Alter als Erzeuger einer zweiten Formengruppe gegenüber, die in wesentlichen Zügen von der ersten abweicht.

In Norwegen sind nur die krystallinischen Gesteine für die Physiognomie des Landes massgebend. Deshalb wiederholen sich auch im ganzen Lande mit Ausnahme des Lofotengebietes die Formen der Oberfläche in einer sehr auffallenden Weise; das Land hat einen durchaus einheitlichen Charakter. Daher die Landschaft von dem Einen monoton, von dem Andern als stylvoll empfunden wird.

Dem Studium dieser allgemein herrschenden, sich so oft wiederholenden Formen der Denudation in den norwegischen Gebirgen war eine Reise gewidmet, die ich mit Unterstützung der kaiserl. Akademie der Wissenschaften — der ich hiemit meinen ergebensten Dank ausspreche — unternehmen konnte. Sie führte mich durch die Gegenden am Hardanger-, Sogne- und Nordfjord, durch Jotunheim und das Fjeldgebiet an der oberen Otta nach Trondheim und bis zu der grossartigen Inselreihe der Lofoten.

Es soll im Folgenden versucht werden, einige Beobachtungen über die Bedeutung und die Aufeinanderfolge der herrschenden Denudationsformen darzulegen. Auf die bekannten Thatsachen der norwegischen Geologie und die älteren Discussionen, an denen sie so reich ist, einzugehen, habe ich keine Veranlassung.

Der auffallendste Zug im landschaftlichen Charakter Norwegens ist der schroffe Gegensatz zwischen Fjord- und Fjeldlandschaft. Dort die energischesten Erosionsformen, die man sehen kann, tiefe Thalspalten, hohe und steile Wände, sehr grosse Neigungswinkel; hier eine flachwellige Berg- oder Hügellandschaft von ganz entgegengesetztem Styl, breite Thäler, noch breitere Rücken, alles ruhig, langgedehnt und einförmig.

Die Fjeldthäler.

Thal und Berg tragen auf der norwegischen Hochfläche in gleicher Weise die Spuren einer überaus machtvollen Eiswirkung an sich. Sind die Berge gerundet, so sind die Thäler muldenartig ausgeschliffen und ihres regelmässigen Gefälles beraubt; zahlreiche langgestreckte Thalseen folgen fast ununterbrochen auf einander, durch Kaskaden mit einander verbunden. Je höher die Lage des betreffenden Thalstückes ist und je näher der Wasserscheide es liegt, desto ausgesprochener sind diese Züge. Fertige Flussstücke von normaler, den hydrographischen Gesetzen entsprechender Beschaffenheit findet man auf der Höhe des Fjeldes so gut als gar nicht. Sie treten erst viel weiter thalabwärts auf. Dafür sind blinde Thäler und Thalwasserscheiden häufig.

Hier ist die wahre Glaciallandschaft; hier kann man sehen, was das Eis vermag und wie es wirkt. Darnach kann man die weniger sicheren oder ganz zweifelhaften Eiswirkungen in anderen Theilen Europas, besonders in den Alpen beurtheilen und kritisiren. Hier ist die Eiswirkung so deutlich, dass nur der Umstand fraglich bleibt, was von den jetzt erkennbaren Formen noch präglacial ist. Dass die glaciale Abnützung gross genug war, um die Oberfläche wesentlich umzugestalten, scheint nicht zu bezweifeln. Dafür ist der zwingendste Beweis der Bestand der zahllosen tiefen Felsbecken, in denen sich jetzt Seen

befinden. Wenn man auch mit Drygalski[1] und Fugger annimmt, dass der Gletscher nur dort Seebecken auszuschleifen vermag, wo die Verwitterung entsprechend vorgearbeitet hat, so bleibt doch auch bei solcher Auffassung noch die Vorstellung einer ungeheuren Wucht und Macht der eiszeitlichen Firnbewegung und einer Wirkung auf den Untergrund bestehen, die alles weit hinter sich lässt, was die heutigen und auch die eiszeitlichen Alpengletscher vermochten. Die Seebecken der Fjeldlandschaft wird man nur der Eisarbeit zuschreiben können.

Denkt man sich einen Untergrund von local ungleicher Härte und Widerstandskraft durch lange Zeit der Einwirkung einer sich bewegenden Eislast ausgesetzt, so wird das Ergebniss ein Relief sein, welches ausschliesslich dem Entgegenwirken dieser zwei Factoren, der Gesteinshärte und der Eisbewegung entspricht: die härteren Partien des Gesteines aus den weicheren herausgeschält; sich treffende und wieder trennende breite thalähnliche Mulden und Vertiefungen um die härteren Bodenpartien, die als Hügel emporragen, sich herumschlingend; das Ganze geneigt in der Richtung des allgemeinen Eisabflusses. Nach Verschwinden des Eises müsste ein solches Oberflächenstück zu einem sehr grossen Theile seiner Fläche mit Binnenseen bedeckt sein; das System der Entwässerung wäre ungemein complicirt, die Wasserscheiden wären höchst verwickelt, Gabelungen und Wasserfälle häufig.

Ohne Zweifel entsprechen gewisse enger umschriebene Partien des norwegischen Fjeldes ziemlich genau diesem speculativ abgeleiteten Bilde der echten Gletscherboden-Landschaft; so z. B. das Sogne- oder Dölefjord in der Umgebung des Praestesteinvand, in gewissem Grade wahrscheinlich auch Hardangervidden; leider konnte der Verfasser diesen interessanten Landstrich wegen andauernden schlechten Wetters nicht besuchen.

Im Ganzen und Grossen wäre es aber doch unrichtig, die Oberfläche des ganzen norwegischen Fjeldes nur als glaciale

---

[1] Ein typisches Fjordthal. Richthofen-Festschrift.

[2] Die Entstehung der Gebirgsseen. Mitth. der Wiener Geogr. Ges., 1896.

Denudations- oder Abarasionsplatte aufzufassen. Ein präglaciales Thalsystem, das in der Hauptsache mit dem heutigen zusammenfällt, ist unverkennbar. Das sieht man z. B. im Flussgebiet der oberen Otta ganz deutlich. Die Thäler tragen zwar noch heute den glacialen Charakter in hohem Grade an sich; sie sind aber doch präglacial, und zwar deshalb, weil sie nach hydrographischen Gesetzen angeordnet sind. Zeichnet man das Flussnetz jenes Gebietes ohne Terrain, so sieht man ein ganz reguläres hydrographisches Netz, an dem keine Störung durch eine fremde, unhydrographisch wirkende Kraft zu bemerken ist. Verrathen doch sonst sofort die blossen Linien der Flussläufe derartige Störungen, wie die geknickten Flussthäler im Faltensystem des Jura oder die rücklaufenden Bäche in den Centraldepressionen der eiszeitlichen Gletscher auf dem Alpenvorlande. Postglacial kann dieses Thalsystem nicht sein, denn die Thäler sind glacial verwandelt, das frühere Gefälle ist durch Aufdämmungen und Auskolkung gestört; es kann aber auch nicht rein glacial sein, weil es dann gar keine Ähnlichkeit mit einem regulären Flussnetz besässe. Ein solches ist aber als Grundriss des jetzigen Entwässerungssystems durchwegs vorhanden.

Auch die allgemeine Abdachung steht mit der Flussrichtung des Eises in Widerspruch. Es ist wohl nicht zweifelhaft, dass die Eisscheide östlich von der jetzigen Wasserscheide gelegen hat, dass also die Eismassen auf dem Raume zwischen den beiden Scheiden sich nach Westen bewegt haben, während die Entwässerung gegenwärtig in der Richtung nach Osten und Südosten erfolgt. Die Thäler dieses Landstriches sind also präglacial und haben sich gegen die Stossrichtung des Eises erhalten.

Veränderungen des präglacialen Thalsystems durch die Eisüberlagerung haben ohne Zweifel in nicht geringer Zahl stattgefunden. Dafür zeugen Doppelthäler, wasserlose Thalstücke und ähnliche Erscheinungen, von welchen Hartung[1] einige zusammengestellt hat. Deutliche Spuren grossartiger Aufdämmungen glaube ich im östlichen Theile von Jotunheim

---

[1] Berliner Zeitschr. für Erdkunde, XIII.

wahrgenommen zu haben: im Ganzen und Grossen folgen aber die norwegischen Flüsse doch den Spuren ihrer präglacialen Vorgänger.

Gegenwärtig arbeiten die Bäche und Flüsse an der Zerstörung des glacialen Charakters der Landschaft. Wenn man aber bemerkt, wie wenig loses Material hier zur Ausfüllung der Seen und Ausschleifung der Thalriegel zur Verfügung steht, wie die Bäche und Flüsse krystallhell über die Gneissplatten hinschiessen, die von eherner Glätte und Festigkeit zu sein scheinen, so begreift man, weshalb die Eisspuren hier noch so frisch erscheinen.

Auch die Thalgehänge zeigen ein ganz anderes Aussehen als in solchen Gebirgen, die vorwiegend vom fliessenden Wasser modellirt sind. Während dort die Thalwände grösserer Thäler eigentlich nur aus den coulissenartig vorspringenden Bergkörpern bestehen, die die Seitenthäler nächst niedrigerer Ordnung von einander trennen, sind hier die Wände der glacialen Trogthäler auf Stunden hin ganz ungegliedert und ungefurcht; die Thäler sind flache Halbcylinder ohne Einmündung von Seitenbächen; die Bäche des hohen Fjeldes gleiten, ohne bisher merkliche Furchen eingegraben zu haben, das Gehänge herab.

Kahre (oder Botner) der Fjeldlandschaft.

An diesen Thalwänden fehlen auch die Kahre, oder was an sie erinnern könnte, gänzlich.

Kahre oder Botner treten erst um eine Stufe höher auf: an den Rücken und Kuppen, die aus der Fläche des hohen Fjeldes hervorragen; oberhalb der Vegetationsgrenze, nahe der Schneegrenze oder ober ihr.

Von der bekannten Skys-Station Grotlid, an der oberen Otta, wo sich die Wege zum Stryinsee und zum Geirangerfjord theilen, noch in ödem, weitem Fjeldthal gelegen, hat man gerade im Süden vor sich den befirnten Rücken der Skridulaupe. Der höchste Rücken ist mit Firn bedeckt, zu ihm steigt das Gehänge vom Ottathale aus mit sehr geringer Neigung und schwach ausgeprägten Stufen an. Nur die letzte Stufe ist schärfer markirt: hier liegt eine Reihe kleiner Kahre neben einander. Bei dem ersten dieser Kahre ist eine dunkle Felswand von ziemlicher

Steilheit sichtbar. Sie bildet eine Nische in dem abgerundeten Bergkörper; links und rechts von ihr fliesst der Firn über das weniger steile Gehänge herab; am Boden der Nische liegt ein kleiner Gletscher; Moränen ziehen sich zangenförmig von den äusseren Ecken der Nische um den Gletscher herum. Oben am Rande der Felswand bricht der Firn stellenweise steil ab; gerade dort, wo die Wand am höchsten ist, aber liegt überhaupt kein Firn; er ist offenbar weggeblasen; eine vereinzelte Schneewehe hängt über die steile Kahrwand. Diese ist ganz frisch im Bruch; sie trägt keine Spur von Eisschliff, was in diesem Lande eine ebenso seltene, als auffallende Erscheinung ist (Fig. 1).



Fig. 1. Botn an der Skridulaupe.

So sehen die Kahre oder Botner an der Skridulaupe aus, deren mehrere neben einander liegen; die Beschreibung passt aber auf zahlreiche andere auf allen diesen Bergen, z. B. am Fanaraaken, am Snehättan und vielen anderen.

Am schönsten entwickelt sind die zwei Kahre des Galdhöpig (2560 *m*), der nördliche und südliche Kjedel (Kessel). Der Zug des Galdhöpig ist ein Fjeldstück, das westlich durch das Leiradal, östlich durch das Visdal begrenzt ist. Die beiden Thäler vereinigen sich im Norden bei Rödsheim in einer Meereshöhe von 549 *m*, im Süden sind sie durch eine Thalwasserscheide, die ungefähr 1500 *m* hoch liegt, verbunden, so dass eigentlich eine Thalfurche um den ganzen Stock herumführt. Trotzdem hier die höchste Erhebung von Skandinavien vorliegt, hat der Galdhöpigzug doch vollkommen den Charakter eines Fjeldstückes, wie sie sonst in jenem Theile des Landes vorherrschen. Er ist nur wegen seiner grösseren Höhe in

höherem Grade von Kahren angeschnitten, so dass sich die Gipfel als mehr oder wenig schmale Rücken darstellen, die zwischen den Kahren stehen geblieben sind. Nirgends aber — etwa mit Ausnahme der Tverbottenhörner ganz im Süden der Gruppe — ist die Zerstörung so weit gediehen, dass es zur Bildung wirklicher scharfkantiger Grate gekommen wäre. Auch der Galdhöpig selbst ist ein gerundetes Fjeldstück, das einst so gut wie seine Umgebung unter dem Eise begraben war. Gegen Norden hin trägt der Zug ausgedehnte, gerundete Fjeldflächen von fast völliger Ebenheit, die sogenannte Galdhö. Hier liegt der nördliche Kjedel. Ein runder, flach ansteigender Kopf erhebt sich auf einer Basis von etwa 1920 *m* bis 2226 *m*. An seiner Ostseite ist aus ihm ein steilwandiges halbes Felsamphitheater, eine grosse Nische ausgebrochen. Es ist ein fast vollständiger Halbkreis, dessen Radius ungefähr 500 *m* betragen wird. Die Höhe der Wand misst dort, wo diese am höchsten ist, also im Hintergrund der Nische, etwa 200 *m*. Gegen beide Seiten wird die Wand niedriger, denn der Mittelpunkt des Halbkreises liegt ziemlich genau in der Peripherie der angeschnittenen Felscalotte. Wo die Wand aufhört, schliessen sich Moränenwälle an und umfangen einen kleinen Gletscher, der den Nischenboden bedeckt und aus ihm noch etwas hervortritt. Sein Ende liegt in einem See, dem Juvvand; hier bricht das Eis ab.[1] Der oberste Rand des Amphitheaters ist nicht von Firn überlagert; auf den Gehängen, welche sich links und rechts neben ihm herabziehen, liegt Firn, der aber nur an einer Stelle im Süden über die Wand hinab abbricht.

Der See, in dem der Gletscher (Vetlejuvbrae ist sein Name) endigt, hat keinen sichtbaren Abfluss. Keine Abflussrinne, nicht die geringste Furche ist zu sehen; der Kjedel ist auch nicht für die kleinste Rille im Thalgehänge ein Wurzelpunkt; seiner Öffnung liegt eine fast ebene Fläche vor, die sich erst einen Kilometer weiter östlich allmälig zum Visdal absenkt.

Daraus ergeben sich die wichtigsten Folgerungen für die Entstehung dieser merkwürdigen Bildung. Auf Wirkung des

---

[1] Siehe Fig. 2, ferner Querschnitt und Karte in Oyen, Isbraestudier i Jotunheimen, Nyt Magazin, 1892. Besser ist aber die Situation auf dem Blatt Galdhöpig der Rektangelkarte ersichtlich.

fliessenden Gewässers kann sie nicht zurückgeführt werden. In dieser Höhe gibt es überhaupt kein regelmässig fliessendes Wasser mehr, es gibt ja auch keine Bachgerinne. Wasserwirkung ist hier bei mehr als 2000 *m* Höhe ausgeschlossen. Dafür ist das ebene Vorland ohne jede Wasserfurche ein schlagender Beweis.

Aber auch Gletscherwirkung in dem gewöhnlichen Sinne der Ausschleifung ist hier ausgeschlossen. Selbst wenn man geneigt ist, dem fliessenden Eise grosse Wirkungen zuzuschreiben, wird man doch die Ausbildung der Hinterwand eines solchen Kahres nicht dieser Kraft zuschreiben können. Denn hier ist gegenwärtig gar kein Eis wirksam; oberhalb der Kahrwand befindet sich ja schneefreier Boden. Der kleine Gletscher, der jetzt im Kahrboden liegt, kann nur auf seinen Grund erodirend wirken; eine directe Bearbeitung der Rückwand ist schon dadurch ausgeschlossen, dass er durch einen Bergschrund von ihr getrennt ist, und dass er sich seiner Bewegungsrichtung zufolge von ihr entfernt.

Selbst wenn oberhalb der Nische ein Firnlager vorhanden wäre, was nicht der Fall ist, und Eislawinen herabstürzten, so wäre die Abnützung der Wand nicht bedeutend. Man sieht das am Supphellebrae und an zahlreichen anderen Stellen in Norwegen sehr deutlich. Stürzendes Eis hinterlässt keine Schliffspuren am Felsen; dieser ist ganz frisch und scharf im Bruche.

Diejenigen, die sich die Entstehung eines solchen Botn durch Gletscherausschleifung erklären, werden annehmen, dass vor seiner Ausbildung hier ein Gehänge war wie nebenan. Das Gehänge war mit Eis bedeckt; durch die Eisbewegung wurde nun der Boden so angegriffen, dass er sich allmälig immer tiefer senkte, so weit, bis die Nische fertig war. Ausser der gewöhnlichen Abschleifung wird in solchem Falle auch an die Absprengung einzelner Felstrümmer gedacht. Dagegen lässt sich einwenden: es sei nicht einzusehen, weshalb gerade hier die Eiswirkung so stark und unmittelbar nebenan gleich Null war. Wollte man aber selbst dieses Bedenken mit der ungleichen Widerstandskraft des Gesteines erklärt halten, so bleibt das zweite: Weshalb ist die Wand nicht geschliffen? Herr Öyen, der von der glacialen Bildung der Botner über-

zeugt ist, ist selbst der unverdächtigste Zeuge dafür, dass die Wand nicht geschliffen ist (siehe die vorige Anmerkung). Auch ist nicht anzunehmen, dass die Schleifung durch nachträgliche Verwitterung verschwunden sei. In diesem Lande, wo Alles vom Eis geschliffen und gerundet ist, von der äussersten Felsklippe weit im Meere bis hinauf zu den höchsten Bergrücken, wo die steilsten Wände an den Fjorden ihre glaciale Rundung und Schleifung bewahrt haben, kann sie nicht dort verschwunden sein, wo das Eis seine erstaunlichste Leistung vollbracht hätte. Man sieht genug glaciale Muldenformen auch in Norwegen; der Verfasser sah eine ganze Reihe stufenförmig über einander liegen am Ostabhange des Grovebrae auf dem Wege über Lundeskaret; diese sehen aber ganz anders aus, sie sind eben geschliffen und gerundet.

Die Wände einer gewissen Gruppe von Botner sind, ausser einigen postglacialen Wasserrissen und Klammen, die einzigen Felsen in Norwegen, die durchwegs nicht geschliffen sind. Daraus ergibt sich für den Verfasser der Schluss, dass sie eben auch nicht glacialen Ursprungs sind. Und da auch die Wasserwirkung ausgeschlossen ist, wie gerade das Beispiel des Kjedel beweist, so bleibt nur noch eine Erklärung: Die Botner dieser Art sind der Hauptsache nach eine Verwitterungserscheinung.

Aus irgend einem Grunde befand sich hier am Gehänge eine Stelle geringerer Widerstandskraft des Gesteines; eine Nische brach aus. Damit war der Ausgangspunkt für die weitere Ausbildung des Botn gegeben. Die Verwitterung schritt von der anfänglichen kleinen Nische centripetal nach rückwärts und erweiterte sie zu einem Circus. Das ist der Hauptvorgang. Für die weitere Entwicklung der Dinge wird nun die Höhenlage massgebend.

Liegt die Ausbruchsnische weit unterhalb der Schneegrenze, in der Zone der regelmässig laufenden Gewässer, so wird sie vom Regen und den Regenrinnen zum Trichter ausgebildet; in die tiefste Stelle schneidet sich das Hauptrinnsal ein; die Nischenwände werden von den Verzweigungen angeschnitten, Gräben und Rippen herausgearbeitet.

Liegt die Ausbruchsnische oberhalb des Höhengürtels der regelmässig laufenden Gewässer, also in der Schneeregion oder

ihr sehr nahe, so wird sich ein Schneefeld oder ein kleiner Gletscher in sie einlagern. Dadurch wird die Ausgestaltung wesentlich beeinflusst. Da das fliessende Wasser nicht wirken kann, so wird der Nischenboden nicht angeschnitten. Durch die bekannte glaciale Ausschleifung und Abnützung wird sich vielmehr ein gerundeter Kahrboden entwickeln. Das von der Verwitterung losgelöste Material wird vom Gletscher wegtransportirt oder gleitet über das Firnfeld ab, es bilden sich entweder wirkliche Moränen oder doch Firnmoränen. Die Wände können sich nicht in ihre Trümmer einhüllen und bieten immer wieder frische Angriffsflächen dar. Endlich wirkt die Abnützung des Kahrbodens durch den Gletscher dazu mit, die Kahrwände steiler zu erhalten und das Nachstürzen zu erleichtern. Dieses kann man sich in folgender Weise denken. Die Wand des Kahres bröckelt oberhalb der eingelagerten Schneemasse ab. Die Trümmer stürzen entweder in den Bergschrund oder auf die Schneeoberfläche. Im zweiten Falle werden sie im Schnee eingebacken forttransportirt und gelangen in die Seiten- und Stirnmoränen. Im ersten Falle kommen sie in die Grundmoräne und werden wohl meist zerrieben. Da man die Zerstörung der freien Wand dem absoluten Betrage nach höher anschlagen kann als die Abnutzung des firnbedeckten Bodens — auf dieser Voraussetzung beruht ja die ganze vorliegende Ableitung — so wird die Kahrerweiterung schneller vor sich gehen als die Kahrvertiefung. Wäre die glaciale Abnützung gar nicht vorhanden, so müsste sich in der Höhe der Schneeoberfläche eine Denudationsebene im Fels herausbilden, ober der das Zurückweichen der Wände erfolgt. Da aber diese Denudationsebene sofort auch wieder vom Schnee bedeckt und abgenützt wird, so wird sie, und besonders ihre innere Kante, gegen das Kahr zu erniedrigt und in den Kahrboden mit einbezogen. Auf diese Weise entsteht eine charakteristische beckenartige Rundung, welche das Nachstürzen neuer Felspartien wesentlich begünstigt.[1]

Wenn hier von Verwitterung die Rede ist, so ist damit mechanische Verwitterung gemeint, der Zerfall des Gesteines

[1] Es ist beabsichtigt, diese Vorgänge in einer eigenen Veröffentlichung ausführlicher zu behandeln.

an seinen natürlichen Trennungsflächen in Folge von Spaltenfrost und scharfen Temperaturwechseln (engl. desintegration). Die chemische Verwitterung, die Zersetzung des Gesteines (engl. decay) spielt bekanntlich in hohen Breiten oder den ihnen entsprechenden klimatischen Höhengürteln des Gebirges eine geringe Rolle.

Als Ausgangspunkt der Kahrbildung kann ebensogut wie die vorausgesetzte Ausbruchsnische ein Wasserriss dienen; besonders die Stelle, wo die obersten Verzweigungen eines solchen sich treffen. Dies setzt aber voraus, dass jene Stelle durch eine Klimaschwankung vom Wärmeren zum Kälteren aus dem Bereich der rinnenden Gewässer in das des Schnees versetzt worden ist. Diese Voraussetzung wird aber für den Kjedel des Galdhöpig nicht zutreffen. Dieser ist durch eine Klimaschwankung vom Kälteren zum Wärmeren aus der Verhüllung durch Inlandeis in die Region der Localvergletscherung versetzt worden. Daher bleibt als Erklärung nur die Ausbruchsnische an einem vom Inlandeis stehen gelassenen, etwas steilwandigen Felsbuckel. Dass solche Buckel seit der grossen Vereisung durch Bergstürze schwer angegriffen wurden, sieht man in Norwegen überaus häufig. Während also in den Alpen, die nach wärmeren Interglacialzeiten in Eisperioden von verschiedener Intensität gelangten, die Kahre sich meist aus Wasserfurchen entwickelt haben, wird dieser Vorgang in Norwegen sehr selten sein und die Verwitterungsnische als gewöhnlicher Ausgangspunkt des Kahres gelten können.

Wo also aus irgend einem Grunde oberhalb der Vegetationsgrenze, die zugleich die Grenze der regelmässigen Wasserläufe ist, und nahe der Schneegrenze freie Wände vorhanden sind, dort ist die Möglichkeit zur Botnerbildung gegeben.

Dass Botner der besprochenen Art nur in einer bestimmten Höhe auftreten, hat auch A. Helland festgestellt.[1] In Norwegen ist diese Höhe ganz den heutigen klimatischen Verhältnissen angemessen; in den Alpen gibt es auch Botner, die anderen

---

[1] Über die Vergletscherung der Faröer. Zeitschr. der deutschen geolog. Gesellsch. 31. Bd., S. 732 und Om indsöerne i Italien etc. Archiv f. Mat. og Naturvid. II, 389.

klimatischen Bedingungen entsprechen. In Norwegen findet man keinen Botn innerhalb der Vegetationsgrenze, im Gebiete der zusammenhängenden Pflanzendecke. Diese Grenze befindet sich im mittleren Norwegen etwa bei 1500 *m*; es ist einleuchtend, dass die Abweichungen sehr bedeutend sind. Nicht alle Botner liegen wirklich oberhalb der klimatischen Schneegrenze; sollte aber der Kahrboden auch unter sie hinabreichen, so werden doch die Kahrwände hineinragen und der Kahrgletscher wird unter ausgiebiger klimatischer Begünstigung sich erhalten.

Dadurch erklärt sich auch die Häufigkeit der Kahre mit nördlicher oder doch östlicher und westlicher Exposition. Volle Besonnung ist der Erhaltung des Gletschers ungünstig. Doch gibt es auch eine Anzahl nach Süden schauender Kahre.

Dass die Botner in Norwegen durchaus an bestimmte Höhengrenzen gebunden sind, kann man bei der Nordlandsfahrt längs der Küste sehr genau beobachten. Das Küstenstück von Trondheim bis zum Eingang des Velfjordes (etwa 65° 30′ N. B.) ist bedeutend niedriger als die übrigen Theile der norwegischen Westküste. Hier sieht man nirgends ein Kahr; auch nicht die Spur davon. Sobald aber Berge auftreten, die so hoch sind, dass sie die Vegetationsgrenze überschreiten, beginnen die Kahre; das erste ist sichtbar an den Höiholmstindern nördlich vom Velfjord. Sie dürften etwa 800—1000 *m* hoch liegen. Wenig nördlich, an den bekannten Sieben Schwestern auf Alstenoe, treten grossartige Kahrbildungen schon in weit niedrigerer Lage auf, und so senkt sich die Kahrgrenze allmälig immer mehr, je mehr man nach Norden kommt.[1]

Diese Abhängigkeit der Botner von der Meereshöhe ist übrigens auch ein Beweis dafür, dass sie nicht ein Ergebniss der allgemeinen Vereisung sind. Denn vereist war das ganze Land, die niedrigen Berge so gut als die hohen.

Die Botner am Galdhöpig, wie sie oben beschrieben sind, stellen die einfachste, typische Form der Erscheinung dar. Die Hohlform des Kahres erfährt aber unter den wechselnden Bedingungen, unter denen sie auftritt, viele Abänderungen; sie

---

[1] Vergl. auch Helland, l. c.

geht häufig mit anderen Formen, die anderen Kräften ihren Ursprung verdanken, Verbindungen ein. Dadurch wird die Erklärung erschwert, denn man hat eine ganze Entwicklungsreihe vor sich. Eine Erklärung, die für eine Form an einem Ende der Reihe gilt, ist unzureichend für die Form, die am entgegengesetzten Ende sich befindet. Durch das allmälige Eintreten anderer Kräfte wird eben die Abwandlung der Formenreihe bewirkt. Nur auf diese Weise ist es geschehen, dass so viele Erklärungen für eine so einfache Sache versucht worden sind. Jede Erklärung passt vielleicht für den einzelnen Fall, den der Autor im Auge hatte, aber nicht für den weiten Begriff, den der Terminus »Kahr oder Botn« deckt und der die ganze Reihe umfasst.

Wenn Bonney den Cirque de Gavarnie oder ähnliche gewaltige Thalabschlüsse zu den Kahren rechnet, so wird man ihm freilich die Wirkung des fliessenden Wassers als wichtigsten Factor bei der Entstehung nicht bestreiten können. Bei den Kjedeln des Galdhöpig ist ebensogut als bei der Schneegrube im Riesengebirge oder beim Wildsee in den Seethaleralpen die Wasserwirkung vollkommen ausgeschlossen. Wir haben also hier die zwei Endpunkte einer Entwicklungsreihe; hier Kahre, die vorwiegend der Verwitterung, hier solche, die der Wasserwirkung ihre Entstehung verdanken.

Es ist sehr wichtig, sich das vor Augen zu halten; nur auf diese Weise werden sich die Widersprüche der Erscheinungen und der Erklärungen versöhnen lassen.

Man kann in Jotunheim die einfache Kahrform, wie sie in den Kjedeln auftritt, noch weiter zurück in ihre Anfänge verfolgen. An mehr als einer Stelle sind die Gletscher des Galdhöpigmassivs von steilen, schwarzen Felswänden umgrenzt, die sich zu kahrartigen Amphitheatern zusammenschliessen. Es sind das die bekannten »Krater«, von denen auch ernsthafte Autoren sprechen; der Berg sehe aus wie blasig aufgetrieben und dann eingestürzt. Es sind ausgedehnte Verwitterungswände, Anschnitte des Bergkörpers, die bei der starken Zerstörung des Gesteines rasch zurückschreiten und bei diesem Zurückschreiten nothwendig Bogen- und Circusformen annehmen müssen. Da nicht vorauszusetzen ist, dass

die Widerstandskraft des Gesteines überall die gleiche sein wird, so werden also, selbst vorausgesetzt, dass die Felswand jemals einen geradlinigen Verlauf gehabt hat, einzelne Partien rascher zurückweichen als andere, und da diese verschiedenen Stellen durch Übergänge mit einander verbunden werden, so entstehen halbkreisartige Einbiegungen. Beispiele sind die Firnfelder des Styggebrae, des Storjuvbrae und des Sveljenaasbrae. Vielleicht noch auffallender ist der Botn an der Heilstuguhöh gegen Heilstugubrae, für welchen sich Aarbog Tur. For. 1875, S. 111 die Bezeichnung Horse-shoe-glacier findet. Das Plateau der Heilstuguhöh fällt steilwandig gegen Osten ab, wo der Heilstugugletscher vorbeifliesst. In der Steilwand findet sich plötzlich eine tiefe, sehr ausgesprochen hufeisenförmige Einbiegung, tiefer als breit und mit verengtem Eingang. Der Boden ist nicht steil geneigt und ist von einem Zufluss des Heilstugugletschers erfüllt. Der obere Rand ist zum Theil mit Firn überlagert, von dem aber keine Abbrüche erfolgen, da das Plateau nach Westen geneigt ist, der Firn also die Tendenz hat, sich von dem östlichen Plateaurand zu entfernen, nicht etwa über ihn sich hinabzuschieben. Von Schliffspuren ist an der sehr steilen Kahrwand nichts zu bemerken; ebensowenig besteht ein Wasserlauf. Die Meereshöhe beträgt etwa 2000—2200 *m*.

Über den Charakter dieses Botn als Verwitterungserscheinung ist wohl kein Zweifel möglich.

Ähnliche Formen treten auch gesellig auf. In der schönen und durch ungewöhnlich kühne Formen ausgezeichneten Kette, welche zwischen Gjendin und Bygdin sich hinzieht, befindet sich eine Reihe grosser, steilwandiger Kahre, deren Wände reihenweise neben einander liegend eine grössere Anzahl mehr oder weniger entwickelter oder nur angedeuteter Botner vom Typus des Horse shoe zeigen.

Wenn man von der Galdhö östlich schaut, hat man die stattliche Spitze des Glittertind gerade gegenüber und blickt in die Öffnung eines gewaltigen schneeerfüllten Kahres hinein. Es ist viel grösser als die bisher besprochenen und viel weniger einfach gebaut; mancherlei Vorsprünge und Rippen gliedern die Kahrwände. Moränen schliessen auch hier die offene Seite, aber ihnen entströmt ein stattlicher Bach: dieses Kahr ist die

Wurzel eines nicht unbedeutenden Gerinnes. Hier liegt ein Beispiel vor für das nächste Glied der Entwicklungsreihe; das Kahr ist nicht mehr allein Verwitterungserscheinung, sondern zu seiner Ausbildung zur jetzigen Gestalt haben auch die Wirkungen des fliessenden Wassers beigetragen. Als ursprüngliche Veranlassung wird aber immer die Verwitterungsnische festzuhalten sein. Der Kahrboden liegt 1800—2000 *m* hoch, die Umrahmung 2200—2500 *m*. In solcher Höhe kann zwar ein Sommerbächlein entspringen, aber kann nimmer fliessendes Wasser wirken. Doch wird eine charakteristische Ausbildung des Kahrmundes nicht ausbleiben, wodurch der Gesammtcharakter gegenüber den Kjedeln des Galdhöpig merklich verändert wird.

Noch einen Schritt weiter in der Reihe liegen die grossen Botner der oben erwähnten Kette zwischen Gjendin und Bygdin, wie Knutshullet, Tjernhullet u. s. f. Hier kann man zweifelhaft sein, ob man es mit Thälern oder mit Botner zu thun habe. Bedeutende Gletscher sind eingelagert, an deren Grund kräftige Bäche strömen, ansehnliche Kaskaden schneiden sich in den Kahrboden ein, der nur 1300—1800 *m* hoch liegt. Doch ist diese Meereshöhe noch immer ausreichend, um den Gedanken an eine Entstehung nur durch Erosion des fliessenden Wassers auszuschliessen. Die Kahrwände sind Verwitterungswände mit Botnern zweiter Ordnung des ersten Typus; nirgends ist eine Spur von Wasser- oder Eiswirkung zu sehen. Ursprüngliche Entstehung und Weiterbildung in den oberen Theilen sind also die eines Botn; die Tieferlegung des Grundes, der schliesslich in eine Klamm, einen engen Schlund, übergeht, eine Ausstreckung der ganzen Hohlform in die Länge, da immer tiefere und daher breitere Schichten des Bergkörpers angeschnitten werden: das ist das Werk der Wassererosion.

Zum gleichen Typus gehören die Kahre in der Gruppe der Horunger, Skagastölsbotn, Ringsbotn u. s. w. Sie haben mit denen der Gjendinkette den Zug gemeinsam, dass die Kämme und Grate, die sie scheiden, sehr scharfkantig und wild gezackt sind. Der Process ist eben schon weiter fortgeschritten als am Galdhöpig, wo die zwischen den Kahren stehen gebliebenen Stücke noch viel mächtiger sind.

Es liesse sich die Reihe der Botnertypen mit allmäliger Hinüberleitung zu den Thalfurchen fortführen, bis man zu den Regenrissen gelangt, die ein Wolkenbruch verursacht und die nichts mehr mit einem Botn gemein haben; es muss aber hier Halt gemacht werden, um die Wirkungen zu bedenken, die die zahllosen Botner der bisher besprochenen Arten im Hochgebirge von Skandinavien und insbesondere in Jotunheim hervorbringen müssen.

Wir sehen in einer bestimmten Höhenzone, von 1500 oder 1800 *m* aufwärts, oberhalb der Vegetationsgrenze, nahe der Schneegrenze eine grosse Anzahl nischenartiger Einbrüche in den Gebirgskörper, die sich zum Theil schon zu mächtigen Amphitheatern ausgeweitet haben. Unablässig arbeitet der Spaltenfrost an der Zerstörung der Wände, welche diese Hohlformen umgrenzen, und bewirkt, dass sie rasch zurückweichen. Das Abfallmaterial wird von den Gletschern entfernt, als Moränen abgelagert oder am Gletschergrunde zerrieben und fortgespült. Hie und da stehen noch ziemlich massige Stöcke des alten, vom Inlandeis geschliffenen Fjeldmassivs zwischen den Kahren — so die Skridulaupe, der Fanaraaken und viele andere — oder doch noch kennbare Fjeldstreifen — am Galdhöpig, der Heilstuguhöh, am Sletmarkspiggen; anderswo sind nur mehr Grate und Zacken übrig geblieben; in den Horungern, am Knutshultind. (Siehe Fig. 3).

Die Zerstörung des Gebirges geht also oberhalb jener Höhengrenze in einer anderen Art und Richtung vor sich als unterhalb. Unterhalb derselben arbeitet das fliessende Wasser im verticalen Sinne, oberhalb die Wandverwitterung im horizontalen.

Daraus folgt, dass sich in dieser Höhe ein horizontales Denudationsniveau herausbilden muss. Alle Hervorragungen über dasselbe werden von der Verwitterung rasch zerstört, und zwar im Wege der Ausweitung der Botner. Hier ist eine zweifellose rückschreitende Erosion, die Botner nähern sich rasch einander, die trennenden Grate werden immer schmäler und niedriger, lösen sich endlich in einzelne Zacken und Gratstücke auf; die Firnfelder der Kahrgletscher greifen über die Lücken der trennenden Kämme über und ver-

schmelzen mitsammen; endlich bleiben nur einzelne isolirte Spitzen und Kuppen übrig, die aus einem Firnmantel herausragen, der sie von allen Seiten umfliesst; auch sie verschwinden endlich. Das Ergebniss ist ein »Calottengletscher«, ein runder, flacher, firnbedeckter Fjeldrücken.

Jeder Reisende, der Jotunheim besucht hat, wird unschwer erkennen, wie reich dieses Gebiet an Beispielen für alle Stadien des angedeuteten Processes ist. Ein prächtiges Beispiel, wie eine grosse Firnfläche nach und nach alle Unebenheiten demolirt und verschlingt, die aus ihr herausragen, ist Jostedalsbrae und die Lodalskaupe, der einzige harte Gneissbuckel, der ihr noch entragt. Unablässig stürzen die Steine von dem einsamen Felsthurm und verschwinden im Firn. Bald wird nichts mehr übrig sein.

Ein etwas weniger weit entwickeltes Stadium zeigen Smörstabbrae mit den Smörstabtindern. Hier hat der polsterartig gewölbte Firn seinen Rand noch nicht ganz verschlungen; eine Reihe Zacken ist noch übrig; aber sie stehen wie verlorene Posten inmitten der weiten Firnfläche, die sie allseitig umgibt.

Noch ist ein wichtiger Punkt zu berühren. Man hat sich gewöhnt, das Auftreten von Botner als einen sicheren Beweis alter Vergletscherung anzusehen; man schliesst ohne weiteres aus ihrer Existenz in der Sierra de Gredos oder im Rhodopegebirge auf einstige Vereisung, und es scheint thatsächlich, dass ihr Auftreten ebenso an diese gebunden ist wie das der Fjorde und Seen.

Der Zusammenhang ist auch nach dem Gesagten ziemlich verständlich. Er ist ein doppelter. Einmal beweist das Auftreten von Kahren an Gebirgen wie der Böhmerwald oder das Riesengebirge, welche jetzt die Waldgrenze kaum überschreiten, dass hier einstens ein kälteres Klima geherrscht und das Gebirge über die Vegetationsgrenze erheblich hinausgeragt hat. Zweitens ist die Mitwirkung der Gletschereinlagerung bei der Ausbildung der Kahre eine ganz wesentliche. Man wird also aus dem Auftreten der Kahre z. B. in den Gebirgen Mittel- und Südeuropas mit Recht auf eine Klimaschwankung und eine einstige Localvergletscherung schliessen dürfen.

Jotunheim.

Der Unterschied zwischen dem norwegischen Hochgebirgsgau Jotunheim, dem angeblich alpinsten Theil des Landes, und einem beliebigen Theil der Gneissalpen ist ausserordentlich gross. Nicht in den Gipfelformen liegt die Verschiedenheit. Eine von der Verwitterung modellirte Masse krystallinischen Gesteines bewahrt unter allen Umständen gewisse Züge, die überall wiederkehren. Die Horunger oder den Knutshulstind oder die Raudalstinder u. s. w. könnte man sich auch am Ende in die Centralalpen versetzt denken, ohne dass sie dort allzu »stylwidrig« erschienen. Der Unterschied liegt vielmehr in der Anordnung der Thäler oder, genauer gesagt, der die Berge und Berggruppen trennenden Hohlformen, und damit auch in der Anordnung der Berge selbst zu Gruppen oder Zügen. Auf den bekannten orographischen Bau alpiner Ketten mit ihren parallelen Querthälern und Querketten mehrfacher Ordnung braucht nicht eingegangen zu werden. In Jotunheim ist von regelmässigen Gebirgsketten und Kämmen ebensowenig etwas zu sehen als von regelmässigen Thälern. Thäler fehlen allerdings nicht. Im Norden schneiden drei Nebenthäler der Otta ein, das Bävra, Leira und Visdal. Es sind präglaciale Fjeldthäler, der Hauptsache nach gewöhnliche Wassererosionsthäler, verhältnissmässig weniger glacial umgestaltet als andere. Sie haben noch am meisten alpinen Charakter. Ähnlich scheint auch das Thal von Vetti (Utla-Elv), das in den Aardalsfjord mündet, beschaffen zu sein; ich habe es leider nicht selbst gesehen. Aber auch diese Thäler verändern in ihren obersten Verzweigungen ihren Charakter in auffallender Weise. Sie werden flacher und weiter und verschmelzen über relativ niedrige Thalwasserscheiden hinweg in der mannigfaltigsten Weise mit ähnlich gebauten Nachbarthälern. So besteht das Innere von Jotunheim aus einem ganzen Netz allseitig mit einander in Verbindung stehender weiter, seenerfüllter Hochthäler, zwischen welchen sich eine grössere Anzahl isolirter Bergmassive ohne Ordnung und Zusammenhang erhebt. Viele dieser Bergmassive haben steile, pyramidenförmige Gipfel von mehr als 2000 *m* Höhe. Auch kurze Kämme sind nicht selten, theils einfache,

wie Raudalstinder, theils strahlenförmig auslaufende wie die Horunger. Daneben gibt es aber auch viel niedrigere Rücken und Plateaustücke von 1300—1600 *m*, wie Skineggen, Memurutunge, das breite »Band« zwischen den westlichen Enden von Gjendin und Bygdin u. v. a.

Durch diese Plateaubildungen in Verbindung mit den etwa gleich hohen Thälern wird die Vorstellung einer ganz Jotunheim durchziehenden Hochebene erzeugt, auf welcher die Bergkuppen regellos aufgesetzt sind. Betrachtet man eines der photographischen Panoramen aus Jotunheim, von der Beshö, Memurutungen oder Skineggen, so wird das Bild dieser durchgehenden Hochebene mit zwingender Deutlichkeit sichtbar.

Freilich sieht man hier auch, dass diese Hochebene ihrerseits wieder von einigen, einem noch tieferen Niveau angehörigen grossen Thalfurchen gegliedert ist. Es sind das die Thäler des Gjendesees, des Tyin- und Bygdinsees. Die beiden letzteren, stattliche Seen von $14^1/_2$ und 28 *km* Länge, an die sich schon ausserhalb des eigentlichen Jotunheim der 16 *km* lange Winsterensee schliesst, bilden die Hauptader; sie streift das Hochgebirge mehr, als es dasselbe durchschneidet. Der 18 *km* lange Gjendin liegt hingegen im Herzen des Hochgebirges und bildet eine 500—800 *m* tiefe Furche in die genannte ideale Hochebene. 100—150 *m* dieser Furche sind mit Wasser erfüllt, das übrige klafft als steilwandiges Thal, in welches die Seitenthäler meist hoch oben am Gehänge ausmünden; nur wenige, Storaadalen, Vesleaadalen und Memurudalen, haben sich schon bis zum jetzigen Seespiegel eingeschnitten.

Bevor wir aber eine einheitliche Erklärung dieser Erscheinungen versuchen, müssen wir noch die Frage erörtern, ob die Jotunheimer Bergwelt in den Perioden der grossen Eiszeiten vom Inlandeise bedeckt war oder nicht. Sie wird zu bejahen sein. Einmal aus dem allgemeinen Grunde, dass ein Inlandeis, das sich bis an das Riesengebirge und nach Schottland erstreckt hat, eine Mächtigkeit besessen haben muss, die alle vorhandenen Höhenunterschiede im Kerngebiete seiner Entstehung, und wären sie auch so gross gewesen als sie gegenwärtig sind, völlig ausgeglichen hat. Der Höhenunterschied

zwischen der mehrerwähnten idealen Hochebene von Jotunheim und den höchsten gegenwärtigen Gipfeln erreicht kaum 1000 *m*. Das Binneneis oder dessen Centralfirn muss hier bei weitem mächtiger gewesen sein. Aber auch der Anblick des Galdhöpig und mancher anderen Spitze beweist die Eisabrundung in deutlicher Weise. Gletscherschrammen und erratisches Geschiebe wird man freilich auf Gipfeln, an denen eine solche Verwitterung arbeitet, vergeblich suchen. Aber die Rundung und Abplattung so vieler hoher Punkte kann nur daher kommen, dass sie einstens vom Eise niedergehobelt worden sind.

Es ist also ein altes gemeinsames Niveau von etwa 2500 *m* Höhe vorauszusetzen, das ich das Denudationsniveau der Gipfel nennen möchte. Die Rundschau vom Galdhöpig lässt es mit einer ganz anderen Deutlichkeit in seinen Resten erkennen als die Aussicht von irgend einem Alpengipfel das einstige gemeinsame Gipfelniveau erkennen lässt, obwohl man auch hier durch die verhältnissmässige Höhengleichheit der Kämme und Gipfel überrascht wird.

Bekanntlich haben wir nicht eine, sondern mehrere Eiszeiten von abnehmender Intensität anzunehmen. In den interglacialen Perioden wurden Thalsysteme nicht immer an der gleichen Stelle eingeschnitten; besonders in den oberen Verzweigungen wechselten die Linien, während die tieferen Furchen leichter wieder eingeschlagen wurden. Den älteren interglacialen Perioden gehören die Thäler an, welche beiläufig im Niveau der Hochebene liegen; einer der letzten das neue tiefe Thalsystem der grossen Seen. Interglacial ist auch dieses, denn es trägt überall die auffallendsten Eisspuren.

Als sich die klimatischen Verhältnisse der Gegenwart einstellten, trat für den grössten Theil des Gebietes an Stelle der Eiswirkung Wasserwirkung und Verwitterung; nur ein geringer Theil davon blieb unter Eis. Auch das Wirkungsgebiet des fliessenden Wassers war verhältnissmässig beschränkt; nur die tieferen Theile der präglacialen Thäler haben regelmässige und starke Flussläufe, die an der Ausgleichung des Thalgefälles und der Ausfüllung der Seen arbeiten. Der grösste Theil des Landes fiel in jene Höhenregion zwischen Vegetations- und Schneegrenze, welche weder durch die zähe Haut der Pflanzen-

decke, noch durch den Schneemantel vor der zerstörenden Wirkung der Atmosphärilien geschützt ist. Denn die Vegetation schützt die Gesteinsmassive zwar nicht davor, von Wasserrinnen zerschnitten und gegliedert zu werden, sie schützt sie aber vor der Verwitterung und Zerstörung im Ganzen. Ebenso schleifen Schnee und Eis zwar die Oberfläche ab, aber die Zertheilung des Gebirges durch Thalfurchen verhindern sie.

Der grösste Theil des Gebirges von Jotunheim liegt also gegenwärtig gerade im Höhengürtel der lebhaftesten Zerstörung. Darum ist Jotunheim das bevorzugte Gebiet der Botner, nebenbei auch das der Ure, d. i. Blockfelder und Geröllhalden. Die präglacialen Thäler erweitern sich, die Bergmassive schrumpfen ein, manche mögen schon ganz verschwunden sein — die ideale Hochebene erweitert sich fortwährend auf Kosten der Gebirgsstöcke. Man wird an die Beschreibung innerasiatischer Hochgebirge erinnert, die in ihrem Schutte ersticken, wenn man z. B. Uladalen oder ähnliche Thäler durchwandert; alles Geröll, Schutt und Zerstörung, aber keine Thalschluchten wie in den Alpen, sondern weite Mulden.

Die ideale Hochebene von Jotunheim ist das Denudationsniveau, das dem gegenwärtigen Klima entspricht.

Denkt man sich die Arbeit, deren Fortgang man jetzt so deutlich erkennen kann, zu Ende gethan, so wird Jotunheim ein welliges Fjeld von 1500—1800 *m* Höhe darstellen mit einzelnen verfirnten Rücken von 2000 *m*, mit einem deutlich abgesetzten, aber wenig verzweigten Thalsystem.

Dann wird es sich in nichts mehr von den südlich, östlich und nördlich angrenzenden Theilen des norwegischen Fjeldes unterscheiden. Es ist wohl gestattet, daraus die Folgerung abzuleiten, dass auch diese Gebiete eine ähnliche Vergangenheit hinter sich haben. Sie sind mit ihrer Geschichte bereits zu Ende gekommen, d. h. sie sind bis zur Vegetationsgrenze und bis unter die Schneegrenze denudirt. Die charakteristische Botnerdenudation, die Denudation der abbrechenden und zurückweichenden Wände kann ihnen im Allgemeinen nicht viel mehr anhaben. Sie sind jetzt nur mehr der Wirkung des fliessenden Wassers ausgesetzt, das freilich hier nur langsame Arbeit zu

schaffen vermag. Weshalb gerade Jotunheim verspätet ist in dem allgemeinen Process, der sonst überall schon um soviel weiter gediehen ist, dafür ist die Erklärung ziemlich naheliegend. Jotunheim gehört dem Gebiete der grossen Überschiebung an, die in der neueren geologischen norwegischen Literatur so viel besprochen worden ist. Nach Törnebohm's Ansicht[1] ist die Folge der krystallinischen Schiefer durch eine colossale Überschiebung von 80—90 *km* in der Bewegungsrichtung hier dem Grundgebirge, dem auch der eruptive Gabbro von Jotunheim angehöre, aufgeschoben worden; nach Brögger's Ansicht[2] sei sie ursprünglich aufgelagert; da sie aber wahrscheinlich obersilurisch, aber aufs stärkste umgewandelt ist, sei eine colossale Auflagerung jetzt denudirter Gesteine vorauszusetzen. Der Jotunheimer Gabbro ist ein jüngeres Durchbruchgestein. Sicher ist also, dass man es hier im Westen mit Gebirgsmassen zu thun hat, die in einer nicht gar zu fernen Zeit noch bedeutend dislocirt wurden, Processe, die sich in Jotunheim durch das Auftreten mächtiger Eruptivmassen complicirten. Man kann fast sagen, so weit Gabbro reicht, so weit reicht der Jotunheimer Hochgebirgscharakter; am Südufer des Bygdin steht schon der Höifeldskvarzit (krystallinische Schiefer und Gneisse) an.

Jotunheims Gebirge waren also jedenfalls höher gehoben als die Umgebung. Für widerstandsfähiger kann ich sie kaum halten; denn unzweideutige Spuren beweisen das Gegentheil. Das Grundgebirge, das den Stock des Jostefjeldes aufbaut, ist viel härter. An den Verzweigungen des Nordfjords oder am Ufer des Fjärlandfjords sieht man nur wenige Bergsturzspuren; die Gletscher haben fast keine Moränen; alle Wände sehen wie polirt aus. Sobald man aber z. B. bei Fortun das Gebiet der krystallinischen Schiefer und bald darauf das des Gabbro betritt, ändert sich sofort das Bild; ausgedehnte Trümmerhalden von Bergstürzen erfüllen die Thäler; das blanke Gewand der einstigen Eisglättung ist an vielen Stellen zerrissen und nur an wenigen unverletzt erhalten. Zwischen Bävertun und Rödsheim im Lejrathal trifft man ein besonders hübsches Beispiel eines

---

[1] Geol. Foren. i Stockholm Förhandl. 1891 und 1892.

[2] Lagfölgen paa Hardangervidda, S. 136.

prallen, rund geschliffenen Felshöckers im Thal, der sich durch postglaciale Verwitterung ganz in seine Trümmer aufgelöst hat, aber doch noch so weit zusammenhält, dass die ursprüngliche Form erkennbar ist. Die Gletscher Jotunheims, besonders die der Horunger, haben ausserordentlich viel mehr Moränen als Jostedalsbrae oder Folgefond.

Trotzdem ist aber die Arbeit der Denudation in Jotunheim noch nicht so weit fortgeschritten als ringsum. Das nöthigt zur Annahme, dass hier die Gebirgshebung energischer oder später erfolgt ist; wahrscheinlich beides, obwohl auf das »später« mehr Gewicht zu legen sein wird. Offenbar ist der Gabbro härter als die ihn umschliessenden Schiefer. Er wurde zuerst aus diesen herauspräparirt, jetzt geht es ihm selbst zu Leibe. Ob manche der räthselhaft verschlungenen Thalfurchen Jotunheims nicht auf den Wechsel von Schiefergesteinen und Gabbro zurückzuführen sind, dies zu beurtheilen, reicht das Material nicht aus, das mir an eigenen oder fremden Beobachtungen zur Verfügung steht.

Versuchen wir uns vorzustellen, welche Wirkung das Wiedereintreten einer Eisperiode auf ein Gebiet wie Jotunheim ausüben würde. Im ersten Stadium, während der allmäligen Einschneiung werden zunächst die zerstörenden Kräfte mit einer Ausnahme lahm gelegt; es wird sich kein Bach mehr einschneiden und kein Stein von der unter Firn begrabenen Wand fallen. Gerade dort, wo jetzt die Zerstörung am lebhaftesten ist, einerseits in der Tiefe der Thäler und Schluchten, anderseits an den Gipfeln, wird Ruhe eintreten. Hingegen werden die durch die Thäler ziehenden Eisströme eine erodirende Kraft entwickeln, der die Gegenwart nichts an die Seite stellen kann; es werden weite U-förmige Mulden, vielleicht auch Wannen auf flachen Thalstücken ausgegraben werden. Sollte es aber bei weiterem Fortschreiten der Eiszeit geschehen, dass sich ein Gesammtgefälle des Binneneises nach einer bestimmten Richtung entwickelte, dass etwa östlich von Jotunheim sich eine »Eisscheide« bildete, von der der Firn in westlicher Richtung über unser Gebiet abströmte, wie es ja wohl einst gewesen ist, so werden auch die Vorragungen der Gipfelregion hart mit-

genommen werden, und zwar umsomehr, je aufgelöster und trümmerhafter sie schon gewesen sind.

Stolze Gipfelgrate und Thürme wie die Horunger werden sich in abgerundete Rücken verwandeln und höchstens an einigen Resten ihrer Steilhänge noch den ehemaligen Charakter erkennen lassen.

Schwindet das Eis wieder hinweg, so ist die Landschaft mannigfach verändert; Alles, was bei Beginn der Eiszeit nicht ganz niet- und nagelfest war, ist ausgescheuert, zerrieben und fortgeschafft, alle Vorragungen sind abgeschliffen und gerundet;



Fig. 3. Die Skagastölstinder (Horunger).

die Schutt- und Geröllmassen, die sich auf und unter dem Eise befanden, als es verging, sind regellos über das Land zerstreut. Was nun weiter geschieht, hängt davon ab, in welche Höhe sich die neuen klimatischen Zonen verlegen. Wird das Land so warm, dass es ganz unter Vegetation kommt, so wird es nur vom fliessenden Wasser weiter bearbeitet; liegt es dabei hoch, so können durch Einschneiden eines Thalsystems die energischesten Veränderungen hervorgerufen werden; liegt es niedrig, so werden die Veränderungen weniger bedeutend sein. Ragt es zum Theil über die Vegetationsgrenze hinauf, so wird der Streifen zwischen Vegetations- und Schneegrenze am lebhaftesten angegriffen. Wo Felsflanken von genügender Steilheit

übrig geblieben sind, wird die charakteristische Botnerbildung eintreten.

Diese wird daran arbeiten, aus den runden Höckern, die das Eis zurückgelassen hat, wieder scharfkantige Grate und Schneiden zu machen, wie sie vordem gewesen. Freilich werden diese neuen »Horunger« um ein gutes Stück niedriger und schmächtiger ausfallen als die alten waren.

Es ist klar, wie sehr das Eintreten einer Eiszeit die Denudation fördern muss, vorausgesetzt, dass die klimatischen Gürtel davor und darnach in gleicher Höhe liegen.

Bleibt ein Theil des Landes nach der Eiszeit verfirnt, so werden diese Stücke aus der Denudation ausgeschaltet. Denn so sehr grosse, bewegte Eismassen die Landoberfläche angreifen, ein kleiner Firn hat schwache Kräfte. Man hat oft gesagt, man solle die Eiszeitwirkungen nicht nach den Leistungen der heutigen Gletscher beurtheilen. Das ist ganz richtig, und gerade Norwegen lehrt die Richtigkeit des Satzes. Man möge aber die Folgerung auch umkehren, und den heutigen Gletschern nicht Wirkungen zuschreiben, die nur den alten zukommen. Ich denke dabei an die Ausgrabung der Botner durch die winzigen Firnlappen, die ihnen eingelagert sind. Auch ein kleiner Firn greift seinen Boden an, indem er ihn abschleift. Wäre dieselbe Erdstelle aber dem Temperaturwechsel der Aussenluft, dem Wechsel von Regen und Schnee, Sonnenschein und Frost, den Lawinen, Gewittergüssen und Stürmen, den sprengenden Wurzeln der Pflanzen ausgesetzt, so wäre die Zerstörung weit stärker und viel tiefer gehend. Firnbedeckung ist also ein relativer Schutz. Während nebenan das fliessende Wasser Thäler ausfurcht und die Botner ein neues Denudationsniveau schaffen, haben die gletschertragenden Stöcke die Tendenz, sich isolirt herauszuheben und zu erhalten. Dabei arbeiten freilich beide Arten von Denudation zerstörend an ihren Flanken, die dadurch immer steiler werden.

Aus dem bisher Entwickelten ergeben sich folgende Sätze:

1. In der Region zwischen Vegetations- und Schneegrenze herrscht — wie längst bekannt ist — die stärkste Zerstörung. In Folge dessen bildet sich hier in allen Gebirgen der Erde ein Denudationsniveau aus, an welchem

die Abrasion der Gebirge stattfindet. Daher findet sich auch überall gerade in dieser Höhe eine Gefällsknickung; der Neigungswinkel nimmt hier plötzlich ab und steigert sich erst wieder da, wo die Denudation gerade an der Arbeit ist, das ist im Hintergrund der Botner.

2. Die Botner sind also nicht Ergebnisse der Inlandeisbedeckung, sondern in erster Linie Verwitterungsformen, deren Ausbildung durch die Localvergletscherung beeinflusst ist; in Norwegen sind die gegenwärtigen Botner postglacial und arbeiten kräftig an der Zerstörung der grossen glacialen Formen.

Die Sackthäler.

Es kann als eine regelmässige Erscheinung angesehen werden, dass am Ursprung eines Thales die einzelnen Quellbäche radial zusammenlaufen. Auch in Gebirgen, an deren Ausbildung ausschliesslich nur das fliessende Wasser thätig war, entwickelt sich hieraus leicht eine halbkreisförmige, amphitheatralische Erweiterung; an anderen Stellen bleiben die trennenden Rippen so scharf, dass nur ein Stern von einzelnen getrennten Schluchten, die sich in der Mitte treffen, zu erkennen ist. War das Gebirge vergletschert, so hat jene amphitheatralische Erweiterung zu einem Thalcircus jedenfalls stattgefunden, und zwar deshalb, weil die trennenden Rippen abgeschliffen wurden, die Erosion der einzelnen Quellbäche aufhörte und endlich die allgemeine glaciale Abscheuerung des Bodens nur einen runden Trog oder Halbkessel erzeugen konnte.

Wir begegnen in den Alpen an gar vielen Stellen diesen glacial umgestalteten Thalwurzeln, manchmal mit, häufiger wohl ohne Seen. Die einzelnen Wasserrinnen, die jetzt wieder dem Mittelpunkt zustreben, sind vorläufig nur erst schwach in das Gehänge eingeschnitten, die Rücken und bastionartig vorspringenden Felsbuckel, die sie trennen, zeigen glaciale Rundung, die Formen sind weich und echt glacial. Solche Thalanfänge sind auch in Norwegen überaus zahlreich, man trifft sie auf Schritt und Tritt, und zwar in den verschiedensten Höhenstufen. Ihre Entstehung erscheint verständlich.

Es gibt aber in den Alpen, in Norwegen und den Pyrenäen auch noch einen anderen Typus. Das sind die steilwandigen Zirken vom Typus des Cirque de Gavarnie. Sie sind am schönsten entwickelt in den nördlichen Kalkalpen, wo das grosse und kleine Höllenthal und das Reissthal an der Raxalpe, die Thäler des Hallstädter- und Königssees, der Ring am Hochschwab Beispiele bieten. Noch grossartiger sind vielleicht die Trenta und das Wocheinerthal in den Julischen Alpen. Doch da sie alle in geschichteten Gesteinen liegen, sollen sie hier bei Seite bleiben.

In den östlichen Centralalpen mit ihren meist weichen Gesteinen ist mir aber kein Beispiel bekannt, für welches nicht die früher gegebene Erklärung ausreichte. Wohl aber gibt es in Norwegen Sackthäler im krystallinischen Gestein, die genau so steilwandig und wild sind, als die der Kalkalpen. Steil und unnahbar erheben sich die dunklen Wände links und rechts und schliessen sich rückwärts im Halbkreis zusammen.

Das grossartigste Beispiel, das ich in Norwegen gesehen, ist der Thalschluss bei Lunde in Jölster, am Abhange des Jostedalsbrae. In geringer Meereshöhe liegt der Thalboden, die Wände dürften theilweise wohl 1000 *m* hoch sein; Kaskaden schwingen sich über sie herab; es ist ein schauerlicher Schlund, dem gegenüber alpine Thalzirken von der Art des Gasteiner-Nassfeldes oder der Ferleite eine überaus freundliche, offene Landschaft scheinen.

Doch wird auch diese Form nach dem früher Entwickelten nicht ganz unverständlich sein.

Gegenwärtig besitzt der Kessel von Lunde keinen Gletscher, das heisst gerade dort, wo der Zirkus sich entwickelt hat, ist kein Gletscher; ein solcher hängt gerade ihm gegenüber vom Jostedalsbrae als schmale zerrissene Eiszunge herab. Der obere Zirkusrand ist jetzt eisfrei. Der Grund liegt darin, dass er in eine etwas niedrigere, jetzt eisfreie Stufe des Plateaus eingeschnitten ist. In der Eiszeit — auch in den letzten Stadien — muss aber auch hier eine Eiszunge vorhanden gewesen sein: es brauchte gegenwärtig nur eines etwas stärkeren Gletschervorstosses, um wieder eine hinzubringen. Trotzdem sind die Steilwände nicht geschliffen, sondern frische

Bruchwände. Sie sind also postglacial und noch gegenwärtig in Weiterbildung begriffen. Die einstige Eiszunge, die sich hier hinabschwang, hatte ihr Bett doch sicher geglättet und trogartig abgerundet.

Wie es hier zur Zeit eines grösseren Gletscherstandes aus gesehen hat, können wir uns leicht vorstellen, wenn wir in eines der benachbarten Thäler, in das des Boiumgletschers oder nach Olden uns begeben, wo der Brixdals-, Melkevold's-, Aabraekke-Gletscher sich über steile Stufen bis in noch tiefere Thäler herabschwingen. Denken wir uns diese Eisströme verschwunden, so würden wir aber ein anderes Bild sehen, als uns das Sackthal von Lunde jetzt darbietet. Ein blankgescheuertes Gletscherbett zöge sich ohne besonders starke Gefällsbrüche vom firnbedeckten Plateau in einem Neigungswinkel zu Thal, der bei aller Steilheit doch weit kleiner wäre, als der der Hinterwand jenes Sackthales.

Es gibt nur eine Kraft, welche nach Verschwinden der Eiszunge ein solches Gletscherbett in einen tiefen, noch viel steilwandigeren Schlund umgestalten kann. Dies ist der Gletscherbach, der dem Plateaufirn schon als gesammelte Wasserader am oberen Thalbeginn entströmt, und in das alte Gletscherbett sich rasch einschneidet, während oben die Firnbedeckung das Plateau schützt und ein weiteres Rückwärtsschneiden verhindert. Wäre oben kein Firn, sondern liefe das alte Gletscherthal an einer Bergschneide aus, wie das in den Alpen der Fall wäre, so hätten die einzelnen kleinen Wasserfäden nicht die Kraft das Gletscherbett so rasch umzugestalten, und auch, da sie getrennt wirken, nicht die Tendenz zur Ausbildung eines so schmalen Sackthales, als z. B. das von Lunde ist. Wo also der Firn aufhört, wird die Erosion beginnen und dort jener gewaltige Gefällsbruch sich entwickeln, mit dem der Übergang vom Plateau zum Sackthal sich vollzieht.

Es scheint also, dass auch hier der Firnschutz auf der Plateaufläche, während die Flanken des Gebirges den Angriffen der Gletscherbäche ausgesetzt waren, zur Erklärung ausreicht, so wie er in allgemeinerer Fassung das Auftreten der Fjorde erklären soll. Die Sackthäler sind ja auch nichts anderes als ein Glied der Formenreihe der Fjorde, und unterscheiden sich

durchaus von den recenten Verwitterungsnischen der Hochregion, den eigentlichen Botnern vom Typus des Kjedel am Galdhöpig.

Wenn einmal das fliessende Wasser den Anschnitt des Gesteines besorgt hat, wird die Verwitterung das Nachbrechen und Zurückweichen der Wände bewirken, und dazu helfen, die durch einen Wassersturz geschaffene und rückwärts geschlossene Schlucht halbkreisförmig zu erweitern. Freilich wird die Entfernung des Materials nur durch den Bach, und daher nicht so umfassend, als durch einen Gletscher besorgt; grosse Sturzkegel sind daher in den Sackthälern Regel.

Eine andere Art Sackthäler ist dann gegeben, wenn der Ursprung eines Wasserlaufes in einem Botn liegt; eine Erscheinung, die dadurch möglich wird, dass viele Botner unter die Schneegrenze hinabgreifen. Es ist auf diese Übergangsformen schon hingewiesen worden. Eine solche ist auch das interessante Sackthal, in welchem der Bessevand (Jotunheim) liegt.[1]

Die Fjordlandschaft.

Über Wesen und Charakter der norwegischen Fjorde sich ausführlich auszusprechsn, scheint bei der Ausdehnung der Literatur und dem allgemeinen Interesse, das seit O. Peschel für die Fjordfrage rege geblieben ist, überflüssig.

Man wird im Allgemeinen die Fjorde als erosiv ansehen können; als Thäler, die mit bestimmten Charakterzügen ausgestattet sind. Freilich scheint es, dass bei den grösseren der norwegischen Fjorde ein Zusammenhang mit der Tektonik nicht von der Hand zu weisen ist. Brögger hat es überzeugend zu beweisen vermocht, dass der Umriss des Kristiania-Fjordes von den Beziehungen des Silur zum Grundgebirge abhängig ist. Bei den noch weit grösseren Fjorden der Westküste ist etwas derartiges noch nicht nachgewiesen. Die ausserordentliche Ausdehnung und der überaus verwickelte Umriss, z. B. des Hardanger-Fjordes macht es aber unmöglich eine solche Erscheinung einfach unter die Bezeichnung »Erosionsthal« zu

---

[1] Helland, geolog. Undersölgelse, XIV, S. 99.

subsummiren. Das kann bei den Verzweigungen der Fjorde gelten, wie Närö- oder Geiranger-, Lyster- oder Fjärland-Fjord u. s. w., aber nicht bei Thälern, die an Ausdehnung nur mit den grossen alpinen Längsthälern, wie Rhone-, Inn- oder Drauthal vergleichbar sind. Auch diese haben ja einen viel verwickelteren im Gebirgsbau vorgezeichneten Ursprung, als die Thäler zweiter und dritter Ordnung, wenn sie auch ihre jetzige Gestalt der Erosion verdanken.

Von diesen Fragen soll aber hier abgesehen werden. Die inneren Theile der grossen Fjorde tragen durchaus und ausschliesslich den Charakter von Erosionsthälern. In welchem Grade das Eis bei ihrer Ausarbeitung dem Wasser geholfen hat, kann vorläufig unerörtert bleiben; sie ausschliesslich für Eiswirkung zu halten, ist unseres Wissens gegenwärtig wohl niemand geneigt. Jedenfalls haben wir ein glacial beeinflusstes, der Hauptsache nach aber wohl dem fliessenden Wasser zu dankendes Thalsystem vor uns.

Vergleichen wir dieses Thalsystem mit dem alpinen, so fallen uns sofort zwei Unterschiede auf:

1. Die Fjordthäler sind im Durchschnitt viel steilwandiger und nähern sich viel mehr der U-Form, gegenüber der in den Alpen vorherrschenden V-Form.

Die Erklärung wird in der stärkeren Eiswirkung leicht gefunden werden können.

2. Die Fjordthäler sind viel ärmer an Verzweigungen als die Alpenthäler. Das hydrographische System ist unentwickelt, es ist nicht bis zu seinen äussersten Consequenzen durchgeführt wie anderswo. Eine Anzahl von Hauptrinnen ist mit ausserordentlicher Wucht und Kraft ausgearbeitet; die Zuflussrinnen aber sind um so schwächer entwickelt. Neben dem tiefen Fjord steht unmittelbar das unzerschnittene massive Fjeld; während der eine Bach, der in den Fjord mündet, sich bis auf den Meeresspiegel durchgeschnitten hat — es ist dies allerdings gewöhnlich der Hauptbach —, läuft ein anderer, kaum schwächerer, erst träge in einem flachen Fjeldthal, um dann plötzlich in hoher Kaskade über die Fjordwand hinabzustürzen. Zahlreiche Seitenthäler münden hoch oben in die Fjorde aus; sie sind durch die steile Fjordwand so plötzlich

unterbrochen, als wenn der Boden mit dem Messer abgeschnitten wäre. Es sind meist weite glaciale Trogthäler, wie sie für das Fjeld charakteristisch sind; der Gegensatz, den ihre sanften Formen zu den furchtbaren steilwandigen Schlünden eines Närö- oder Geiranger-Fjordes und so vieler anderer bilden, kann nicht schärfer gedacht werden. Man sieht auch in den Alpenthälern ungleiche Entwicklungsstadien verschiedener Glieder eines und desselben Flusssystems, höher gelegene Seitenthalmündungen u. dergl.; doch sind diese Erscheinungen ziemlich unbedeutend gegenüber der Grossartigkeit und Regelmässigkeit, mit der sie in Norwegen auftreten (Siehe Fig. 4). Es ist leicht verständlich, dass die Mündung eines Seitenthales zurückverlegt wird und in eine relativ höhere Lage zum Hauptthal gelangt, wenn dieses aus einem fluviatilen V-Thal in ein glaciales U-Thal verwandelt wird. Das unterste, ohnedies gewöhnlich ziemlich steile Stück des Seitenthales wird wegrasirt und dieses gewissermassen angeschnitten. Auch diese Erscheinung sieht man an den norwegischen Fjorden nicht selten. Aber das ist doch etwas anderes als die hochliegenden, wenig ausgeprägten Fjeldthäler. Für diese reicht die hier gegebene Erklärung nicht aus.

Suess hat »Antlitz«, II, 426, den charakteristischen Fjordquerschnitt abgebildet und den oberen scharfen Rand eines U-Thales mit der terrassenartig sanfter geneigten Fläche dahinter Schulter genannt. Auch die Zerstörung der Schulter durch die postglacialen Seitenbäche ist an derselben Stelle besprochen und bildlich wiedergegeben. Man sieht die Ansätze dieser Art überall, doch staunt man nicht selten über den geringen Erfolg, den das fliessende Wasser in der postglacialen Zeit erzielt hat.

In der Regel stehen die Schultern beiderseits scharf und trotzig da. Erreicht man die Höhe des Fjeldes, so verräth kein Anzeichen die Nähe der tiefen Fjordschlucht.

In das flach und schwächlich entwickelte, glacial stark umgestaltete Thalsystem des Fjeldes schneidet das System der steilwandigen, schluchtartigen, um 1000—2000 *m* tieferen Fjordthäler sich ein; ohne jeden Übergang, ganz rücksichtslos könnte man sagen (Siehe Fig. 4).

Es ist das einer der merkwürdigsten Züge der Fjordlandschaft. Zunächst ist die Sache auch verwunderlich genug. Wenn der Fluss, der in dem jetzigen Fjordthal lief, kräftig genug war, sich so einzuschneiden, dass diese enormen und in den Alpen unerreichten Schluchtwände entstanden, weshalb war sein Tributär, der vielleicht nicht viel schwächer ist, nicht stark genug, auch nur die geringste Rinne auszugraben und zerflattert als »Fos« an der hohen Felswand? Weshalb ist die Erosion im Hauptthal der im Seitenthal so unverhältnissmässig vorausgeeilt, dass dieses mitten durchgeschnitten erscheint, so scharf, dass nicht einmal die Schnittkanten noch abgerundet sind?

Es muss eine Zeit gegeben haben, wo die thalbildenden Kräfte auf den Linien der heutigen Fjorde und ihrer Hauptzuflussthäler mit grösstem Erfolge wirken konnten, während sie auf den benachbarten höher gelegenen Gebirgstheilen und in den Seitenverzweigungen niederer Ordnung ausser Action gesetzt waren.

Das kann nicht eine Zeit gewesen sein, in der das ganze Land gleichmässig den Wirkungen des abfliessenden Regens, also der gewöhnlichen Flusserosion ausgesetzt war; dann müsste das hydrographische Netz consequent durchgeführt sein; es hätte nicht eine Platte mit tiefen Rinnen, sondern ein regelmässig geböschtes und abgedachtes Gebirge entstehen müssen.

Ebensowenig konnten diese Formen unter einer allgemeinen Eisdecke entstanden sein. Die wilden steilen Fjordwände sind, trotzdem sie meist geschliffen sind, nicht glacialen Charakters. Das Eis schafft runde weiche Formen, aber nicht Cañons.

Es scheint, dass die obige Bedingung: energische Erosion auf den Hauptfurchen, Stillstand der Erosion auf der Höhe des Gebirgsmassivs nur durch die Annahme erfüllt werden kann: W a s s e r c i r c u l a t i o n o d e r s c h n e l l b e w e g t e E i s s t r ö m e i n s c h o n v o r g e z e i c h n e t e n T i e f e n r i n n e n ; F i r n e i n h ü l l u n g d e r h ö h e r e n G e b i r g s p a r t i e n.

Diese Annahme trifft heute noch zu für den Stock des Jostedalsbrae. Das Plateau ist mit Firn bedeckt; Eisströme reichen an vielen Stellen bis gegen das Meer. Die mächtigen Gletscherbäche und die Eisströme selbst erodiren kraftvoll.

Kaum in einem anderen Theil von Norwegen ist aber auch der oben geschilderte Contrast so scharf als hier; das steilwandige unzertheilte Fjeld und der tiefe Fjord. Der Loën-See und der Olden-See sind von allen norwegischen Bildern die norwegischesten.

Zur Zeit als die Fjorde auf ihre jetzige Form gebracht wurden, muss die Schneegrenze tiefer gelegen haben und Eisströme müssen die Fjorde zum Theile erfüllt haben. Die deutliche U-Form der Gehänge und die Barren am Ausgang der Fjorde nöthigen zu dieser Annahme. Das Thalsystem selbst ist aber ebenso sicher nicht glacialen Ursprunges, sondern stammt aus einer eisfreien Zeit; denn es ist in den Hauptzügen hydrographisch angeordnet, wie es Eis niemals schaffen könnte.

Wir kommen somit zur Annahme, dass die entscheidende Periode für die Entstehung der Fjorde und insbesondere für die Herausbildung ihrer charakteristischen Züge, der Steilwandigkeit der Furchen und der Unberührtheit der trennenden Stöcke, die Zwischenperioden der Eiszeit, oder deren geringere Stadien gewesen sind.

Gleichzeitig mit der Austiefung der Fjorde in den älteren Interglacialperioden und der jüngeren Eiszeit erfolgte die glaciale Denudation des Fjeldes, einerseits durch Abschleifung, anderseits, und wie wir annehmen wirkungsvoller, durch die oben besprochene Botnerbildung, die Zerstörung der Grate und Gebirgskämme. In der ungefähren Höhe der Schneegrenze wurden sie abgenommen, und heute sehen wir das Ergebniss dieser Arbeit ebenso in der welligen Oberfläche des schneefreien Fjeldes, als besonders deutlich in den grossen Plateaugletschern von Jostefjeld und Folgefond vor uns. Die Gebirgskämme, welche vorauszusetzen sind, als vor der ersten Eiszeit hier ein regelmässiges, hydrographisch gegliedertes Gebirge aufragte, sind bis auf die letzte Spur verschwunden, und die Gletscher, welche die Arbeit verrichtet haben, ragen nur ganz wenig über die Schneegrenze empor. Sie werden noch vorhanden sein, wenn die stolzen Zinnen von Jotunheim, die wilden Horunger und der plumpe Galdhöpig längst verwittert und ihre Strünke unter sanft gewölbten Schneehauben verschwunden sein werden.

So erklärt sich die Fjordbildung in ungezwungener Weise. Die Schneegrenze mag in den verschiedenen Perioden, die wir als günstig für die Ausarbeitung des Gegensatzes zwischen Fjord und Fjeld angenommen haben, nicht immer ganz gleich hoch gelegen haben; der Unterschied war aber sicherlich nicht sehr gross. Immer wird man annehmen können, dass gleichzeitig Flüsse oder Eisströme die Thäler vertieften und ihre Wände steiler machten, während in der Höhe die Gipfel verschwanden und eine Denudationsebene geschaffen wurde. Der Gefällsbruch an der Stelle, wo sich diese Ebene mit den Fjordschluchten verschneidet, die Schulter, musste immer schärfer werden und schliesslich sich so sehr einem rechten Winkel nähern, wie wir das jetzt sehen.

Auf diese Weise sind zwei Haupteigenschaften der norwegischen Fjorde erklärt: die Steilwandigkeit und die unvollständige Durchführung des hydrographischen Systems. Es wird zwar auch aus der neusten Zusammenstellung von Dinse[1] nicht ganz klar, ob für alle Fjordgebiete der Erde jener Gefällsbruch so charakteristisch ist wie für die norwegischen Fjorde; ob überall der Gegensatz zwischen der steilwandigen Fjordschlucht und dem ebenen Fjeld so lebhaft ist als hier. Sicher ist, dass Riasküsten und solche von dalmatinischem Typus und Steilküsten wie die ligurische sich schon durch den Mangel jenes Gefällsbruches ganz auffallend von dem norwegischen Typus entfernen, sollte der Grundriss ihrer Einbuchtungen auch einmal fjordähnlich aussehen.

Während die Steilwandigkeit der Fjorde oft hervorgehoben worden ist, hat man die andere, daraus hervorgehende Eigenschaft, die unvollständige Ausbildung des hydrographischen Systems, weniger beachtet. Doch ist sie nicht weniger charakteristisch, und es wird nicht zu bezweifeln sein, dass eine Vergletscherung, welche nicht eine völlige Einhüllung in Eis ist, der einseitigen Ausbildung gewisser schon vorhandener Hauptthalgerinne, die unter die Schneelinie zu liegen kommen, auf Kosten anderer, die oberhalb der Schneegrenze bleiben, günstig sein muss; denn unter Firn ruht die Erosion von

[1] Zeitschr. der Berl. Ges. für Erdkunde, 1895/I.

Furchen um dort umso kräftiger zu erwachen, wo der Gletscherbach hervortritt oder wo ein rascher Eisstrom fliesst.

Nach J. Geikie[1] haben wir für Skandinavien eine viermalige gänzliche Vereisung und darnach noch zwei schwächere Vorstossperioden der Gletscher anzunehmen; nach Hansen zwei grosse und zwei kleinere Eiszeiten.[2] Der Unterschied beruht darin, dass Hansen Geikie's erste und dritte Eiszeit, für die thatsächlich in Skandinavien wenig Zeugnisse vorhanden sind, nicht kennt. Für unsere Betrachtung ist es von untergeordneter Bedeutung, ob wir eine oder zwei Unterbrechungen der Eiszeit mehr anzunehmen haben oder nicht; das Entscheidende ist der mehrmalige Wechsel von Wasser- und Eisstromarbeit in den Thälern, und darüber ist wohl kaum mehr ein Zweifel gestattet. Welches Klima vor der ersten Eiszeit herrschte, wissen wir nicht. Man weiss, dass die Tertiärperiode wärmer war als die Gegenwart und allmälige Abkühlung eintrat. Da in Skandinavien kein marines Tertiär gefunden wird, wird man annehmen müssen, dass das Land wie heute hoch über die See emporragte. Freilich findet man auch keine Süsswasserablagerungen. Man wird voraussetzen können, dass sie der mehrmaligen glacialen Denudation zum Opfer gefallen sind. Aus dieser Zeit stammen wohl die Grundzüge des heutigen Fjordnetzes, das präglaciale Thalsystem des Westabhanges der Halbinsel; wir denken es uns viel weniger tief eingeschnitten als jetzt, ein regelmässiges hydrographisches System, ohne die charakteristischen Gefällsbrüche und Steilwände der Gegenwart.

Es kam nun die erste Eiszeit, Geikie's Scanian; wir wissen wenig von ihr. Von Geikie wird sie ungefähr als gleichwerthig mit der vierten (dem Mecklenburgian) geschätzt. Darnach müsste man eine vollkommene Firnbedeckung der höheren Theile der Halbinsel und Eisströme in den Thälern voraussetzen, die bis zum heutigen Küstensaum reichen. Damals wird die glaciale Ausweitung und Ausrundung aller Thäler begonnen haben.

---

[1] Great Ice Age, III. Auflage, 1894.

[2] Glacial Succession in Norway. Journ. of Geology, 1894, p. 144.

Zwischen der ersten und zweiten Eiszeit, im Norfolkian, herrschte nach den Fossilienfunden ein Klima, welches ungefähr dem heutigen vergleichbar ist. Das Land stand höher.[1] Unter solchen Umständen waren die vorausgesetzten Bedingungen für die Ausbildung der Fjorde in einem vollkommenen Grade gegeben. Die höheren Theile des Fjeldes waren verfirnt, die präglacialen Fjordthäler, deren Grund noch über der See lag, eisfrei; das Fjeld selbst war ebenfalls höher, auch deshalb, weil es noch weniger denudirt war. Es herrschten also Verhältnisse, wie heute in der Umgebung von Folgefond oder Jostedalsbrae.

Es folgt die zweite Eiszeit, Geikie's Saxonian, die grösste von allen; sie entspricht Hansen's proteroglacialer Periode. Sie war es, die die skandinavischen Findlinge an den Fuss des Riesengebirges, nach Holland und England brachte und die äusseren Moränen des Alpenvorlandes schuf. Damals muss ganz Norwegen mit einer so grossen Eislast bedeckt gewesen sein, dass kaum irgend ein Stück des Bodens sichtbar war. In dieser Zeit ist die Abschleifung eine allgemeine und gleichmässige gewesen; die Ausbildung gegensätzlicher Formen, wie Fjeld und Fjord, kann keine Fortschritte, sondern nur Rückschritte gemacht haben.

Es folgte abermals eine Interglacialzeit, das Helvetian, mit gemässigtem, aber wohl kühlerem Klima als die frühere, daher abermals Vergletscherung der Höhen; Eisfreiheit der Thäler, Weiterbildung des Gegensatzes.

Die nächste Eiszeit wäre das Polandian, die Periode der inneren Moränen des Alpenvorlandes; sie war für die Alpen bis in die neuere Zeit die eigentliche Eiszeit, von der man überhaupt sprach und wusste. Sie brachte für Skandinavien eine fast ebenso starke Vereisung als die erste. Es ist also abermals Stillstand in der Fjordbildung anzunehmen.

Die nächste Interglacialzeit (Geikie's Neudeckian) zeigt wieder weniger warmes Klima als die vorhergegangene, doch ist die Fauna »sicher nicht arktisch«.

---

[1] Geikie, S. 781: The fjordvalleys of Norway and Scotland have been excavated by running water at a time, when the land stood some 2000 to 3000 feet higher than now. And the same may be said of the fjordvalleys of North America and Greenland.

In der vierten Eiszeit, dem Mecklenburgian, als die mecklenburgischen und südnorwegischen Erdmoränen aufgeschüttet wurden — Hansen's deuteroglaciale Epoche —, reichten die norwegischen Eisströme nur mehr bis zum Ausgang der Fjorde. Dieser Periode wird man den letzten glacialen Schliff der Fjordlandschaft, insbesondere die Vertiefung der Fjordgründe und die Aufschüttung der Fjordbarren zuschreiben dürfen. Da das Fjeld auch in seinen niedrigen Partien mit Firn bedeckt war, wird diese Periode für die Verschärfung der Gegensätze besonders wirksam, vielleicht entscheidend gewesen sein.

Die zwei noch folgenden Vorstossperioden (Hansen's »epiglaciale« und »subglaciale« Periode) brachten die Eiszungen nur bis zu den rückwärtigen Endungen der Fjorde; ihnen werden die Abdämmungen einiger Fjordwinkel zu Binnenseen (Eidsvand bei Skjolden in Lyster und ähnliche Erscheinungen) zuzuschreiben sein.

Es ist noch die Frage zu erörtern: weshalb sind alle Fjordküsten jetzt zum Theil überschwemmt; weshalb sind die Thäler, welche zwischen den firnbedeckten Massiven so eigenthümlich erodirt wurden, gegenwärtig zum grösseren Theile Meeresbuchten?

Dafür gibt es zwei Erklärungen. Einmal ist zu beachten, dass eine Erosion durch Eisströme nicht wie die des fliessenden Wassers streng auf die Gebiete oberhalb des Meeresniveaus gebunden ist. Eine Meeresbucht, die von einem Eisstrome erfüllt ist, der nicht schwimmt, kann durch diesen tiefer gemacht und ein Thal, dessen Sohle nicht all' zu hoch über dem Meeresspiegel liegt, von einem starken Eisstrom auch unter diesen vertieft werden.

Da aber solche Vorgänge gewiss nicht ausreichen würden, um eine so grossartige und weitverbreitete Erscheinung zu erklären, so bleibt nur eine andere, ebenfalls allgemeine Ursache anzunehmen übrig: die Erdoberfläche befindet sich gegenwärtig im Zeitalter einer Transgression.

Für diese Annahme sprechen ausser der Existenz der Fjorde, die ja unter allen Umständen, auch wenn man die hier aufgestellte Theorie nicht billigt, als inundirte Thäler auf-

zufassen sein werden, noch zwei Gründe: erstens die Koralleninseln, sobald man die jetzt wieder zu Ehren kommende Darwin'sche Erklärung annimmt, und zweitens der Umstand, dass fast überall auf der Erde die Küsten den Umriss inundirter Festlandspartien, nicht den erhobener Theile des Meeresbodens zeigen.

Mit den beiden Annahmen: Vergletscherung präglacialer Thäler und Transgression scheint aber überhaupt das Fjordphänomen in allen seinen Eigenschaften ausreichend erklärt.

Die charakteristischen Eigenschaften der Fjorde sind: *a)* Steilwandigkeit, *b)* ungleichmässiges Gefälle des Grundes oder Beckenbildung, *c)* trogartige Ausschleifung der Wände, *d)* geselliges Auftreten ausschliesslich im Seeklima der kühleren Hälfte der gemässigten Zonen.

Alle diese Eigenschaften erklären sich durch die Vergletscherung.

Weitere Eigenschaften sind: *e)* Eine Anordnung hydrographischer Natur, d. h. reihenweises geselliges Auftreten neben einander, Verzweigung ins Innere, ähnlich Flussläufen, obwohl sie jetzt nicht Stätten fliessender Gewässer sind, *f)* unterseeische Fortsetzungen durch seichte Meere bis in tiefere Meeresgebiete.

Diese Eigenschaften, also überhaupt die Existenz der Fjorde als Meeresbuchten, erklärt sich durch präglaciale Bildung und Meerestransgression oder positive Strandverschiebung.

Zwei weitere Eigenschaften, *g)* die Auflösung der Fjordküsten durch Fjordstrassen, also die Existenz grösserer vorliegender Inseln, dann *h)* der vorliegende Schärenhof bedürfen einiger Worte mehr, und zwar müssen die genannten beiden Erscheinungen strenge von einander geschieden werden.

Die Entstehung von Fjordstrassen ist aufzufassen als Ergebniss der Durchkreuzung und Verschmelzung ursprünglich unabhängiger Thalsysteme. Die Sache erscheint dort, wo der natürliche Zusammenhang der einzelnen Gebirgskörper durch einen Wasserspiegel verschleiert ist, meist viel wunderbarer als sie wirklich ist. Würde man eine Fjordküste um einige 100 *m* aus dem Wasser heben können, so käme eine Anzahl jetzt

unterseeischer Verbindungsrücken (»Eide«), gemeinsamer Sockel u. dergl. zum Vorschein, welche einen verständlichen orographischen Zusammenhang herstellten. Wir würden dann eine sehr auffallende Ähnlichkeit mit den Randpartien anderer Gebirgsländer in allen Theilen der Erde wahrnehmen. Die Zahl isolirter Stöcke und Gruppen, die nur mittelst niedriger Rücken oder Thalwasserscheiden mit der Hauptmasse des Gebirges zusammenhängen, ist sowohl am Süd- als am Nordrand der Alpen überaus gross. Solche Abtrennungen sind also keine nur für Fjordküsten charakteristische Erscheinung, sondern ein ganz allgemeines Phänomen der Gebirgsbildung, welches nur an inundirten Gebirgsrändern in auffallenderer Weise sichtbar wird. Man denke z. B. an die dalmatinische Küste, welche gewiss keine Fjordküste ist, sondern durch eine Reihe höchst charakteristischer Eigenschaften von einer solchen sich unterscheidet: eines hat sie aber doch mit ihr gemeinsam, das sind die Abtrennungen einzelner Stücke des Festlandes. Es werden solche in Gebirgen überall dort eintreten, wo zwei Systeme von Tiefenfurchen für den orographischen Bau massgebend gewesen sind; in Dalmatien sind es die Längsfalten des Gebirgsbaues und die darauf und zur Küste ungefähr senkrecht stehenden Erosionsfurchen, deren Verlauf vielfach wieder durch Brüche und Absenkungen bestimmt sein wird. Ähnlich ist es in den nördlichen Kalkalpen, wo die Längsfalten des Gebirges und die zonale Aufeinanderfolge verschiedener Gesteine von den Querthalfurchen ungefähr senkrecht geschnitten werden. Durch die leichtere und raschere Zerstörung gewisser Gesteinspartien und durch die gewöhnliche Wassererosion ist so ein netzartiger Verlauf der Tiefenfurchen hervorgebracht, der im Falle der Transgression Anlass zu zahlreichen Fjordstrassen gäbe.

Es wird sich daher auch bei den wirklichen jetzt bestehenden Fjordküsten empfehlen, bei Erklärung der Fjordstrassen zunächst nach der Tektonik zu fragen. Dass sie hier an bestimmten Stellen dieselbe Rolle spielt wie in den Alpen, dafür ist ein von mir besuchter, sehr bekannter Platz in Norwegen, die Gegend nördlich von Bergen, der deutlichste Beweis. Dort laufen die Falten des silurischen Gesteins von NW nach SO, während die Richtung des Öster-Fjordes im Allgemeinen NO

bis SW, des Sör-Fjordes S—N, dann O—W ist. Durch die Gletscherwirkung und gewöhnliche Oberflächendenudation sind die Falten als zahllose nebeneinander laufende niedrige Rücken an der Oberfläche zum Ausdruck gekommen, zwischen sich Thäler, Fjorde und Binnenseen offen lassend. Das Blatt der norwegischen Rektangelkarte, welches dieses Gebiet darstellt, zeigt ganz deutlich, wie Fjordstrassen und Inseln durch die Kreuzung dieser zwei Richtungen entstehen.

Zahlreiche Veranlassungen zur Kreuzung von Thalfurchen bot die Vergletscherung dar. Auch im Innern Norwegens sind niedrige Thalwasserscheiden, isolirtes Hervortreten einzelner Stöcke, unklares Verschmelzen von Thalfurchen, scheinbare Gabelungen überaus häufig; man könnte mit ihrer Aufzählung ein Buch füllen. Auch an offenbaren Beispielen rückschneidender Erosion, die zur Anzapfung von Thälern führte, fehlt es nicht. Ein sehr auffallendes ist Stardal-Jölster. Ein breites, wohl ausgebildetes Thal führt vom Fuss des Jostedalsbrae, wo es mit dem gewaltigen Amphitheater von Aamot schliesst, hinaus zum Jölstervand. Es ist aber von Norden her zweimal »angezapft« worden, wie die nebenstehende Kartenskizze lehrt (Fig. 5). Man wird die Erklärung nicht bloss darin finden, dass im Norden der durchschnittenen Gebirgskette der Meeresspiegel näher liegt, als im Süden, sondern auch darin, dass das angezapfte Thal mit einem grossen Eisstrom angefüllt war, der Seitenäste über die vorhandenen Wasserscheiden nach Norden sendete. Deren Abflüsse schnitten sich rasch in die Nordseite der Wasserscheiden ein, während die Südseiten unter ihrer Eisbedeckung vor dem fliessenden Wasser geschützt waren; vielleicht auch durch die Eisbewegung in der Richtung gegen die Wasserscheide erniedrigt wurden. Ohne Intervention eines über die Wasserscheide, also gegen die Richtung des einen Flusses hin wirkenden Gletschers, ist die gänzliche Zerstörung einer Wasserscheide schwer denkbar, weil zwischen den beiden nach verschiedenen Seiten hin wirkenden Gewässern immer ein todter Punkt oder, wenn der Ausdruck gestattet ist, eine todte Linie bleiben muss.

Wäre jenes Gebiet um 200—300 *m* versenkt, so hätte man zwei Fjordstrassen von erstaunlicher Enge vor sich.

Die Erscheinung der Fjordstrassen ist also im Allgemeinen durch positive Strandverschiebung und Vereisung genügend erklärt, da ihre Voraussetzungen an allen Rändern complicirter gebauter Gebirge gegeben sind und sie durch wiederholte Vereisungen mächtig gefördert wird.

Das Auftreten des Schärenhofes an der norwegischen Küste ist durch Reusch in vollkommen befriedigender Weise erklärt worden.[1] Man hat eine »Strandebene« vor sich, die durch Brandungswirkung entstanden ist.

Da sie interglacial ist, wurde sie geschliffen, und da das Meer seit ihrer Bildung mehrmals seinen Stand, wenn auch nicht beträchtlich änderte, ist sie zum Theil überschwemmt, zum Theil wasserfrei. Sie hat zunächst mit der Fjordbildung nichts zu thun, sondern ist eine Sache für sich.

Jede aus hartem Gestein bestehende, durch eine Eiszeit modellirte Ebene bildet, wenn sie zum Theil unter Wasser gesetzt wird, eine Schärenküste. Diese ist nichts Anderes als die typische Uferform glacial bearbeiter Platten; daher findet sie sich ebenso in Schweden und Finnland als an den nordamerikanischen Seen.[2] Die schwach entwickelten Fjordküsten, wie die von Maine, bilden eine Übergangsform zwischen der Schären- und Fjordküste.

Betrachten wir schliesslich eine Steilküste ausserhalb des Fjordgebietes, z. B. die ligurische Küste am Mittelmeer, um über die charakteristischen Unterschiede gegenüber den Fjordküsten und ihre Ursachen vollends ins Klare zu kommen.

Die ligurische Küste hat zwar Querthäler, aber sie sind nicht inundirt. Es hat also entweder keine Transgression stattgefunden, oder wenn eine solche sich einmal eingestellt hat, so hat die Ausfüllung der Thäler mit der Senkung Schritt gehalten. Diess ist bei den Fjorden niemals der Fall gewesen, weil die Eiserfüllung die Schuttfüllung ausschloss.

Daraus ergibt sich für Fjordküsten die Folgerung, dass die Transgression zur Eiszeit stattgefunden haben muss.

---

[1] Geologiske Undersölgelse, XIV, 1.

[2] Ratzel in Peterm. Mitth. 1880.

Die Thäler der ligurischen Küste haben an ihren Hängen keinen Gefällsbruch, die Seitengräben sind nicht durch hohe Stufen abgeschnitten; die Bergkämme sind nicht zu Plateaustöcken abgeflacht; die Thäler sind nicht trogartig ausgerundet; sie haben keine Becken: alles weil sie nie vergletschert waren.

Die Küste hat keinen Schärenhof vor sich, weil die schwache Brandung des Mittelmeeres keine Abrasionsfläche schaffen konnte.

Die gebirgigen Küsten wärmerer Zonen ausserhalb der Vergletscherung haben also keine Fjorde; aber auch die flachen Küsten der Arktis, wie die nordasiatischen, haben weder Fjorde noch Schären, weil sie nicht vergletschert waren.

Damit scheint also die Beschränkung der Fjorde auf das Gebiet der alten Vereisung hinreichend erklärt. Es war natürlich, dass man auf den Gedanken verfiel, die Fjorde müssten von den Gletschern erodirt sein, sobald man darüber ins Reine gekommen war, dass sie ausserhalb jenes Gebietes nicht vorkommen. Genauere Beobachtungen haben gezeigt, dass der Zusammenhang zwar nicht so einfach, aber nicht weniger zwingend ist.

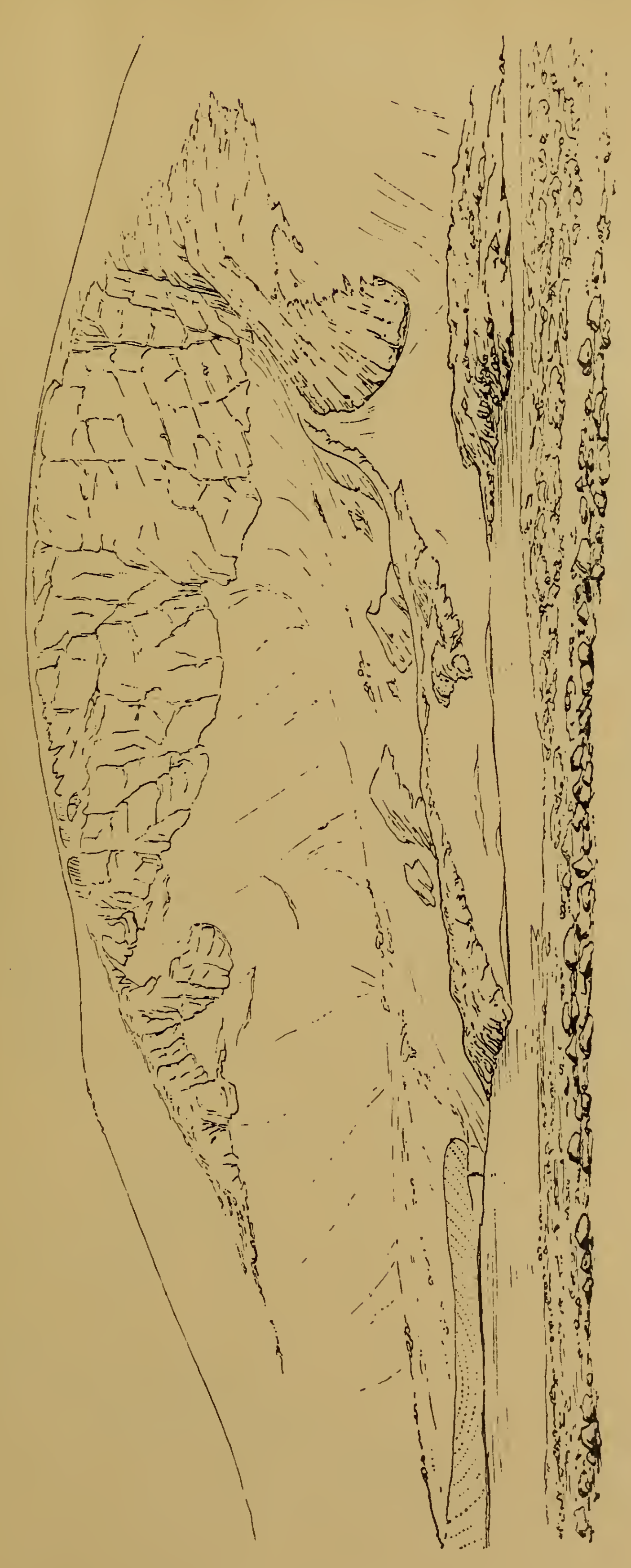


Fig. 2. Der nördliche Kjedel am Galdhöpig.

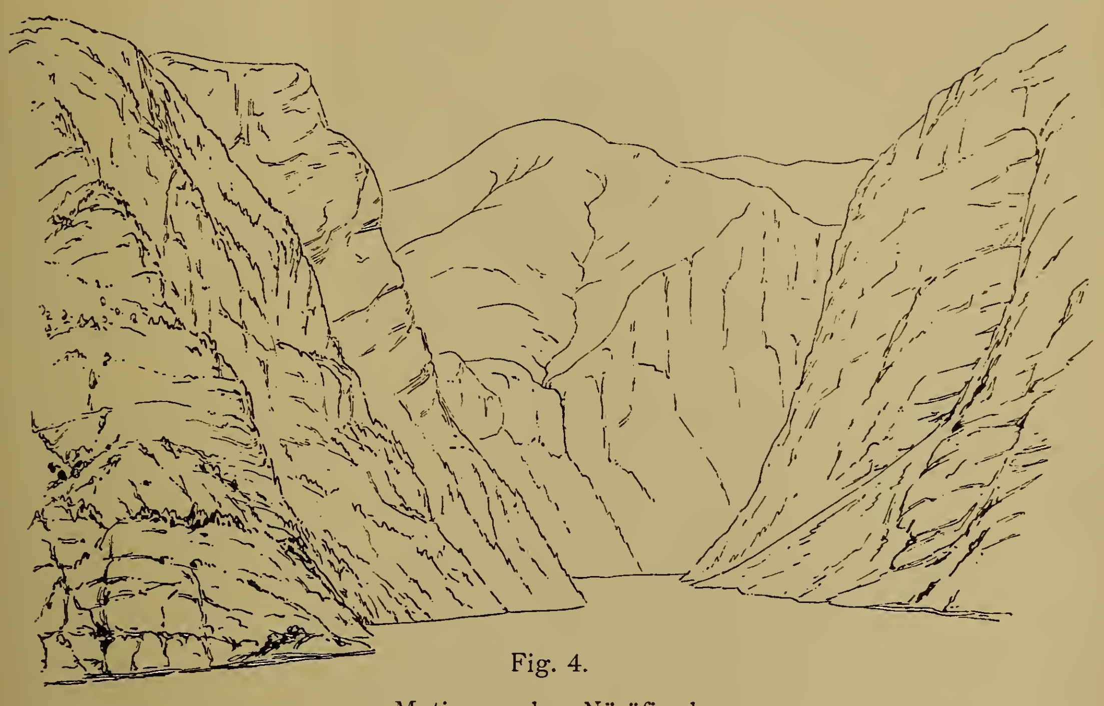


Fig. 4.

Motiv aus dem Näröfjord.

Fig. 5. Stardal in Jölster.